This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1889.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
15360 Quai des Grands-Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1889.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1889

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 4 JANVIER 1889.

PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Combet (Candide), Professeur au Collège de Nantua.
Lecat, Professeur au Lycée Janson de Sailly.
Martin (Joanny), Préparateur à la Faculté des Sciences de Lyon.
Martinet, Professeur au Lycée de Montpellier.
Sarran, Professeur au Lycée de Bourges.

A propos du procès-verbal de la dernière séance, M. le Secrétaire général donne lecture d'une Lettre de M. le Dr Regnard, relative à une Communication faite par M. le Dr Gréhant. Il est décidé que cette Lettre sera jointe au procès-verbal. Le procès-verbal est ensuite adopté.

Monsieur le Président,

Je lis dans les comptes rendus de la Société de Physique la description d'une trompe soufflante par M. Gréhant. Or j'ai présenté à la Société de Biologie, en 1882, un dispositif absolument identique, non seulement par le principe, mais dans les détails. Une figure accompagne le texte.

J'ai l'honneur de joindre à cette réclamation de priorité le texte même de ma Communication à la Société de Biologie et la figure qui l'accompagne.

Recevez, Monsieur le Président, etc.

Dr P. Regnard.

29 décembre 1888.

Sur la proposition du Conseil et à l'unanimité des voix, M. Janssen est nommé Membre honoraire de la Société.

M. Cael donne lecture du Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice de 1888. Les comptes sont approuvés et des remerciements sont adressés à M. le Trésorier.

M. le Secrétaire général demande à ajouter quelques mots pour préciser l'état financier de la Société.

L'actif, comme on vient de le voir, s'élève, en chiffres ronds, à 52000^{fr}, mais il s'en faut que la totalité de cette somme soit disponible.

24 000^{fr}, conformément aux statuts, sont immobilisés en obligations pour représenter les souscriptions perpétuelles, et les revenus seuls peuvent être employés aux besoins de la Société.

15 000^{fr} représentent la valeur des volumes non encore écoulés de la collection des *Mémoires*.

Restent donc 13000^{fr}, sur lesquels 10500^{fr} résultent de dons faits en vue d'une destination spéciale, savoir : 5000^{fr} pour le volume des *Constantes* et 5500^{fr} pour la Bibliothèque.

La somme entièrement disponible en fin d'exercice est donc seulement de 2500^{fr}.

M. le Président déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, du Vice-Secrétaire, du Trésorier archiviste, de deux Membres pour la Commission du *Bulletin* et pour le renouvellement partiel du Conseil.

Sont élus :

Vice-Président : M. Mallard.
Secrétaire général : M. Joubert.
Vice-Secrétaire : M. Vaschy.
Trésorier archiviste : M. Maurat.
Membres de la Commission du Bulletin : MM. Bouty et Violle.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. le colonel Bassot, Chef de la Section de Géodésie au Dépôt de la Guerre;
Eiffel, Ingénieur-Constructeur;
de Nerville, Ingénieur des Télégraphes, Directeur du Laboratoire central d'Électricité;
Sarrau, membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres.

Membres non résidants :

MM. Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille;
Pfaundler, Professeur de Physique à l'Université d'Inspruck;
Soret (Louis), Professeur à l'Université de Genève;
Witz, Ingénieur, Professeur aux Facultés catholiques de Lille.

M. de Romilly, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède la Présidence à M. Mascart, Président pour l'année 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

M. H. LE CHATELIER rend compte d'expériences qu'il a entreprises pour déterminer les coefficients de dilatation aux températures élevées. De semblables déterminations comprennent deux parties distinctes : la mesure des températures et celle des allongements.

En ce qui concerne la mesure des températures, le problème est complètement résolu par le couple thermo-électrique platine-platine rhodié, dont l'usage a précédemment été indiqué.

Pour la mesure des longueurs, on a employé la méthode photographique qui permet, sur un cliché ordinaire, de faire les pointés à $0^{mm},01$ près; d'autre part, la dilatation de tous les métaux entre 0° et 1000° est supérieure à 0,001 de leur longueur, de telle sorte qu'avec une tige de $0^{m},1$ de longueur, photographiée en vraie grandeur, on pourrait mesurer la dilatation dans cet intervalle de température à 1 pour 100 près.

On ne saurait penser, pour une semblable photographie, à employer un objectif unique. Les plus petites variations, dans les distances respectives de la tige photographiée, de l'objectif et de la plaque sensible, amèneraient des déformations de l'image, du même ordre de grandeur que celles qui proviendraient de la dilatation. Mais cette cause d'erreur est complètement éliminée si l'on photographie chaque extrémité de la tige au moyen d'objectifs différents, séparés l'un de l'autre par une distance égale à la longueur de la tige et maintenus à cette distance d'une façon rigoureusement invariable.

Cette méthode a été appliquée d'abord à la détermination du coefficient de dilatation de la porcelaine de Bayeux; les expériences ont été faites sur la tige d'un petit pyromètre qui avait servi autrefois à MM. Mallard et Le Chatelier dans leurs mesures de températures d'inflammation des mélanges gazeux. Le coefficient de dilatation est resté constant entre 0° et 1000°, avec une valeur de 0,0000036.

Quelques déterminations analogues ont été faites sur des métaux : le fer, l'acier, la fonte et le nickel. D'après ces expériences, encore incomplètes, ces quatre métaux se dilateraient sensiblement de la même façon. Leur coefficient de dilatation, égal à 0,0000115 à la température ordinaire, croîtrait progressivement, pour atteindre une valeur sensiblement double à 1000°. La même méthode photographique peut être appliquée à la détermination des coefficients d'élasticité, mais son degré de précision est inférieur à celui des procédés habituellement employés pour cet usage.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1888.

La Commission, après s'être fait présenter les pièces de comptabilité et avoir vérifié l'état de la caisse, a pu, d'après les renseignements et documents fournis par le Trésorier, établir ainsi qu'il suit la situation financière de la Société :

Recettes.

	fr
En caisse à l'ouverture de l'exercice (1er janvier 1888)	1475,70
Produit des cotisations	7592,00
Droits d'entrée	200,00
Souscriptions perpétuelles	1520,00
Intérêts du capital placé	1394,50
Produit de la vente des publications de la Société	880,35
Dons	2546,85
Vente de 15 obligations des chemins de fer du Midi (anciennes), à raison de 405fr l'une	6075,00
TOTAL DES RECETTES	21684,40

Dépenses.

	fr
Loyer du siège social	600,00
Traitement de l'agent de la Société	1600,00
Indemnité au même pour le Catalogue de la Bibliothèque	200,00
Abonnements aux journaux scientifiques et reliure	464,90
Bibliothèque circulante	79,50
Frais de bureau et frais divers (étrennes, etc.)	527,35
Recouvrement des cotisations	163,65
Frais d'expériences pour les séances	28,50
Séance de Pâques	648,70
Frais de gravure pour le *Bulletin*	178,15
Distribution du *Bulletin* des séances	241,45
Agent de change	28,25
Gravure pour la *Collection des Mémoires de Physique* et traductions	1345,40
Achat de 19 obligations des chemins de fer du Midi (nouvelles), à raison de 404fr,875 l'une	7692,65
Payé à M. Gauthier-Villars, en compte sur les mémoires fournis jusqu'à ce jour (*suit le détail*)	7553,10
TOTAL DES DÉPENSES	21351,60
Excédent des recettes sur les dépenses (reste en caisse au 1er janvier 1889)	332,80

Détail des Comptes relatifs à nos publications.

	fr
Impression, correction, tirage des 14 premières feuilles du t. IV de la *Collection des Mémoires de Physique* (1er vol. sur le Pendule)	3255,00
Feuilles (*a*) et (*b*) du même volume	465,00
Bulletin des séances, impression et tirage du fascicule de juillet à décembre 1887	796,30
Fascicule de janvier à mars 1888	1224,40
Fascicule de mars à mai 1888	607,60
Ordres du jour des séances, de novembre 1887 à juillet 1888	1071,15
Circulaires, cartes de Sociétaires, liste des Membres de la Société.	133,65
TOTAL	7553,10

Situation.

Actif.

				fr
60 obligations nominatives des chemins de fer du Midi (anciennes) (prix d'achat), certificats nos 91729 et 110337				21360,25
10 obligations nominatives des mêmes chemins de fer (anciennes), certificat n° 118297 (prix d'achat)				3941,25
3 obligations au porteur des mêmes chemins de fer (anciennes), nos 185901-185903 (prix d'achat)				1182,35
19 obligations du Midi au porteur (nouvelles), nos 21093-21098, 151523-151526, 163843-163848 et 344141-344143 (prix d'achat, à 404fr,875 l'une)				7692,65
Espèces en caisse				332,80
Volumes en dépôt chez MM. Gauthier-Villars et Fils.	Coulomb..	736	à 6fr le volume..	15210,00
	Ampère I..	824		
	Ampère II.	975		
		2535	TOTAL	49719,30

Il convient d'ajouter à ce chiffre les cotisations à recouvrer; elles ne peuvent être calculées que d'une manière approximative. Nous les avons évaluées, d'accord avec M. le Trésorier, à 2000,00

ce qui porte notre actif à la somme de 51719,30

Passif.

Le passif se réduit à une facture relative au brochage du *Bulletin* de nos séances depuis l'année 1880 jusqu'au mois de juillet 1887. Cette facture n'avait pas encore été présentée par M. Gauthier-Villars; elle se monte à 633fr,60.

Statistique.

D'après les renseignements qui nous ont été fournis, la Société française de Physique comptait, au 25 décembre 1888, 711 Membres, dont :

376 habitant Paris ou le département de la Seine,
216 » la province ou les colonies,
119 » l'étranger.

Parmi ces Membres, les Souscripteurs perpétuels sont au nombre de :

			fr		fr
92	ayant versé	.....	200,	soit.....	18400
6	»	.....	150,	»	900
3	»	.....	100,	»	300
4	»	.....	50,	»	200
La Société a perdu 21 Membres perpétuels ayant versé.....					4200
				TOTAL.....	24000

La Commission des comptes, ayant ainsi établi le résumé des comptes de recettes et de dépenses pour l'exercice 1888, en propose l'approbation à la Société.

Les Membres de la Commission des comptes,

D'ARSONVAL, CAEL, Ct RENARD.

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 4 JANVIER 1889

PAR M. F. DE ROMILLY,
Président sortant de la Société française de Physique.

MESSIEURS,

L'honneur d'avoir présidé pendant une année les séances de la Société de Physique laissera dans ma mémoire une trace ineffaçable et dans mon cœur une profonde reconnaissance.

Au moment de transmettre cet honneur à un plus digne, je dois vous exposer l'état actuel de la Société. Elle compte maintenant assez d'années d'existence pour avoir acquis son équilibre définitif. Cet examen répond donc à cette grave et inévitable question : notre Société possède-t-elle les éléments de la durée, notre Société vivra-t-elle ?

Dans chacune des allocutions de mes prédécesseurs, on sent cette préoccupation si naturelle. Aujourd'hui il est temps de se mettre en face du problème et d'en chercher la solution catégorique.

Si l'on veut juger sans illusion une Société, il faut lui appliquer en toute rigueur la méthode qui sert à calculer la puissance d'action d'un corps matériel. Seulement, au lieu de l'évaluation d'une masse et des énergies dont elle est le siège, c'est le nombre de ses adhérents, c'est l'activité de ses travaux intérieurs et des productions qui en émanent qui font la puissance d'une Société et, comme conséquence immédiate, son intensité de vie, sa résistance à la désagrégation, sa solidité.

Examinons :

Notre Société augmente-t-elle en nombre ?

Faisons d'abord la part, la part douloureuse des pertes que nous avons éprouvées.

Ouvrant la voie à cette série de deuils, nous avons vu la fin tragique du malheureux J. Raynaud suivie de près par la mort de l'ancien Inspecteur des Télégraphes, Richard, celui-là même qui fut le compagnon de Raynaud dans la tentative héroïque de rattacher, au milieu des ennemis, les bouts rompus du câble qui reliait Paris à la France. Bientôt après, succombaient de Wroblewski, le professeur de Physique de l'Université de Cracovie, Desplats, Agrégé de la Faculté de Médecine de Paris, ensuite un membre honoraire de notre Société, l'illustre professeur Edlund, de l'Académie des Sciences de Stockholm. Puis nous déplorions la disparition d'un des fondateurs de notre Société, Debray, membre de l'Institut, puis Cabanellas et Paul Roisin. J'ai voulu citer tous ces noms pour les rappeler encore une fois à nos regrets.

Messieurs, malgré les vides qui se sont faits dans nos rangs, le nombre des membres a augmenté de 42. Au commencement de l'année dernière, nous étions 669, nous voici aujourd'hui 711. Donnons à ce progrès sa véritable valeur, en nous gardant de comparer cet accroissement aux faciles adhésions des premières années. La quantité des personnes qui s'occupent des questions de Physique est restreinte et l'on côtoie bientôt une limite impossible à franchir.

Donc, pour le nombre, réponse satisfaisante.

Étudions maintenant ce que notre Société renferme d'activités intérieures.

Dans cette session d'une année, il a été fait quarante-quatre Communications orales appuyées par des expériences nombreuses, préparées avec soin et exécutées sous vos yeux. Ces Communications, présentées le plus souvent par les maîtres dans chaque spécialité, ont un intérêt et une importance de premier ordre.

Je voudrais les évoquer toutes à votre souvenir. Le temps manquerait. Il faudrait donc faire un choix et marquer ainsi des degrés dans leurs mérites. Mon savant et éminent prédécesseur ne s'est pas cru l'autorité nécessaire pour donner les places à d'aussi grands élèves. Où sa haute compétence s'est récusée, vous trou-

verez naturel que mon insuffisance se dérobe. Il est aisé, du reste, de vous reporter aux comptes rendus de nos séances où vous lirez ces Communications dans toute leur étendue et de la main même des auteurs.

Il en est une cependant que je veux relever ici, celle qui a été faite le 1er juin par Sir William Thomson. Si je la cite entre toutes, c'est que, indépendamment de son importance scientifique, la présence, au milieu de nous, du grand physicien anglais, venant, à titre de Collègue, nous faire part d'un nouveau résultat de ses recherches, a une signification que je ne veux pas laisser échapper. Elle est la manifestation de l'estime où notre Société est tenue par les représentants les plus illustres de la Science anglaise. Cette estime à quoi la devons-nous, sinon à ces communications, témoignages incessants de la vie intérieure de notre Société?

Ce foyer d'activité rayonne au dehors.

Le fascicule si soigné des comptes rendus de nos séances est répandu dans tout le monde savant et donne lieu à ces échanges continuels qui entretiennent nos relations avec les autres Sociétés.

De plus, trois Volumes des Mémoires relatifs à la Physique, qui sont édités par la Société, ont déjà été lancés dans le public. Un quatrième va paraître. Ce sont MM. Potier, Joubert, Wolf qui ont pris la tête de ce mouvement. D'autres vont suivre. Vous avez reçu ces beaux Livres, vous les avez lus et vous avez pu apprécier le travail auquel se sont dévoués nos Collègues, travail destiné avant tout aux chercheurs et qui s'est trouvé en même temps lucratif pour la Société par l'accueil que lui a fait le public.

Une autre publication dont je n'ai pas à vous faire sentir la valeur est à l'état de formation : c'est le *Livre des constantes*. Vous en connaissez le but. Déjà M. Broch, un de nos membres honoraires, et M. Dufet, avec un zèle qui servira d'exemple, ont apporté une partie de leur contribution à ce grand travail. Je ne puis vous indiquer comme prochaine la terminaison d'une œuvre qui demande la réunion des efforts de nombreux savants, mais je puis vous assurer que l'apport de beaucoup de documents ne se fera pas attendre.

Une annexe à cette publication a aussi été votée par votre Conseil : ce sera le *Livre des définitions*. On y spécifiera le sens exact des mots désignant les quantités et les unités de la Physique.

On comprend la nécessité de fixer, d'une manière invariable, l'acception de ces termes laissés jusqu'ici à l'arbitraire de chaque physicien.

Certes ces définitions du fait unique de la Société ne peuvent, dès le principe, créer une obligation générale, comme cela a eu lieu pour les unités arrêtées au Congrès international, mais je ne doute pas qu'une fois consacrée par la Société de Physique la convention ne s'étende peu à peu et ne finisse par s'imposer à tous les auteurs qui tiendront à être universellement compris.

Mais l'action de la Société ne se borne pas à ces publications.

Cette année, comme les précédentes, notre exposition a été le rendez-vous des physiciens de la Province et de Paris. Ai-je besoin de vous rappeler l'animation de ces deux soirées terminées par une intéressante conférence de M. Mascart sur les dangers d'incendie par l'électricité? N'oublions pas qu'à cette occasion M. Lemonnier nous a offert généreusement une dynamo d'une grande puissance, que nous devons la splendeur de notre éclairage à M. Cance, et que, gratuitement aussi, MM. Weyher et Richemond ont mis à notre disposition une machine à vapeur dont la construction et la régularité de marche ont été remarquées.

Messieurs, de tous côtés nous trouvons des amis dévoués, parce que l'on reconnaît que les physiciens s'acharnent à un rude labeur dont ils savent qu'ils ne tireront pour eux-mêmes aucun profit. Ils savent que la mesure de l'intensité de la pesanteur, l'analyse des rayons du Soleil, les recherches sur le phénomène de Hall n'ont jamais enrichi personne. Ils n'en ont nul souci. Et c'est là l'honneur de notre Société. En ce moment même où nous voyons la foule se ruer à la bataille pour les places, pour la fortune, le physicien, calme et seul dans son cabinet, médite, expérimente, calcule. Pour les furieux d'ambition c'est, les uns contre les autres, la lutte pour la vie; pour lui, solitaire, c'est contre la nature la lutte pour la vérité. La vérité, voilà l'unique objet de notre Société; c'est ce but désintéressé, c'est ce but sublime qui inspire partout autour de nous la sympathie et le respect.

Alors qu'il s'agit de notre exposition, si je ne saisissais ce moment de rappeler le rôle prépondérant de notre secrétaire général, vous m'en voudriez, Messieurs.... Il m'en voudrait bien davantage, lui, de mettre ce rôle en lumière. Je me tais donc, et nous ignore-

rons, n'est-ce pas, l'habileté cachée qui, ce jour-là, a tout organisé et cette sollicitude silencieuse qui, durant toute l'année, alimente et règle nos séances. Mais avouez, Messieurs, qu'il est bien dur de ne pas pouvoir lui dire : merci.

Notre exposition, nos publications, le cours même de nos séances ne vont pas sans entraîner certains frais obligés. A côté du budget d'autres sociétés, notre avoir paraîtra bien médiocre. Mais l'économie bien entendue de notre trésorier prévient, avertit le Conseil et lui fait peser et discuter chaque dépense; c'est avec des remerciements que nous reconnaîtrons que M. Maurat nous a conduits au bout de l'année avec un excédent de trois mille francs absolument libres.

Notre Société est donc en pleine prospérité.

Mais, Messieurs, presque toutes les sociétés ont à leurs premières années des débuts favorables. Les commencements sont toujours très brillants. Ce qui est difficile, ce qui est rare, c'est de persister, c'est de se perpétuer avec le même éclat.

Les sociétés périssent quelquefois par le désordre de leurs finances, ou le délaissement de leur objet. Nous n'avons rien à redouter de ces deux côtés. Elles disparaissent presque toujours par les jalousies, les querelles, les divisions intestines. Jusqu'ici l'ombre même d'un tel danger nous a été épargnée. Il règne entre nous cette estime mutuelle, cette camaraderie de bon aloi qui éteint toutes les susceptibilités.

J'ai pu le voir à notre dernier Conseil. Lorsqu'un de nous a mis en avant le nom de M. Mallard pour le présenter à votre élection, j'ai parcouru du regard toute l'assistance. Messieurs, les mains qui se sont levées les premières et sans hésitation ont été précisément celles de nos collègues qui par le retentissement de leurs travaux auraient pu être jugés dignes des mêmes suffrages. Il y a eu là une spontanéité pleine de franchise et de modestie qui, tout en honorant celui qui a obtenu cette préférence, honore aussi ceux qui la lui ont si loyalement attribuée. Je ne suis pas convaincu que, dans toute autre assemblée, les choses se fussent passées avec ce détachement de toute préoccupation personnelle.

Ici, Messieurs, il n'y a place que pour la cordialité et la courtoisie, et, si l'on veut saisir au vif la physionomie de votre Conseil, il faut ajouter la bonne humeur et la gaieté. Car les plus sérieuses

discussions sur les plus graves sujets n'y ont jamais exclu ni le petit trait de fantaisie, ni le grain de sel gaulois qui tiennent les esprits en éveil et les gardent de la solennité et du pédantisme. Croyez-moi, la sagesse de nos décisions n'en a jamais souffert.

Voilà, Messieurs, comme forces matérielles, comme activité intellectuelle, comme hauteur morale, la somme de puissance de notre Société.

Et maintenant pensez-vous qu'elle soit résolue cette question : notre Société vivra-t-elle?

L'excellent ami, dont l'image seule, hélas! assiste ici à cet impartial examen, serait sans inquiétude sur les destinées futures de la Société qu'il a fondée. Nous pourrions le féliciter de son œuvre et lui dire : elle vivra.

Oui! et notre vitalité va pouvoir s'affirmer.

Au Centenaire de la plus grande date de l'histoire, au milieu des Sociétés qui l'environneront, la Société française de Physique apparaîtra vivante et florissante. Elle sera dignement présidée. Les choix s'offraient nombreux. Vous avez prononcé, et notre Société sera représentée par celui que, dans un récent procès, le président des assises, en pleine audience, a proclamé « une des gloires de la France ».

SÉANCE DU 18 JANVIER 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Cavailhès, Préparateur de Physique au Lycée de Nice.
Janet (Paul), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Grenoble.

MM. le lieutenant-colonel Bassot, Eiffel, Macé de Lépinay, de Nerville, Pfaundler, Soret et Witz, nommés membres du Conseil, et M. Vaschy, élu vice-secrétaire, adressent leurs remerciements à la Société.

M. le Président donne lecture d'une lettre qu'il vient de recevoir de M. le Dr Gréhant, en réponse à celle qui a été adressée à la dernière séance par M. le Dr Regnard.

Monsieur le Président,

... Je reconnais que M. Regnard a imaginé en 1882 une modification du vase de Tantale, qu'il a pourvu de soupapes pour produire une insufflation d'air intermittente; mais il y a dans l'appareil inventé par F. Gréhant une disposition nouvelle: le siphon, au lieu d'être intérieur, est extérieur et s'élève à 4^m de hauteur ou à une hauteur plus grande qui ne doit pas excéder 10^m; un tube droit qui porte deux soupapes sphériques s'élève un peu plus haut et la soupape d'expiration est munie d'un tube long de 8^m qui permet d'injecter l'air à une profondeur de 3^m ou 4^m dans des bacs d'aquarium aussi grands que ceux de l'aquarium du Trocadéro, ce que ne permet pas de réaliser la trompe de M. Regnard.

Du reste, je démontrerai à la séance de Pâques le jeu de cet appareil, qui pourra être comparé à celui que M. Regnard pourrait présenter en même temps.

Recevez, Monsieur le Président, etc.,

Dr Gréhant.

18 janvier 1889.

M. L. Le Chatelier présente un appareil destiné à mesurer les variations de longueur des pièces d'une charpente métallique, correspondant au travail moléculaire qu'y détermine l'application de forces extérieures, et rend compte d'expériences qu'il vient de faire sur le travail, sous charge d'épreuve, d'un pont de chemin de fer.

La méthode expérimentale consiste à amplifier considérablement les variations de longueur de l'intervalle compris entre deux points de la pièce, où sont montés, d'une part, un butoir fixe et, de l'autre, un butoir amplificateur, reliés par une tringle. Le butoir amplificateur, très habilement construit par M. Digeon, consiste dans une poche d'eau, fermée par une membrane métallique plissée et en communication avec un tube en verre ouvert en haut. La tringle attaque la membrane à son centre et les déplacements qu'elle lui imprime sont traduits par des déplacements du ménisque dans le tube en verre, amplifiés, à peu près, dans le demi-rapport des sections de la membrane et du tube. Cette loi n'étant qu'approchée et le calibrage du tube n'étant pas parfait, chaque appareil est, au moment de son emploi, taré en imprimant à sa membrane des déplacements que produit et mesure une vis micrométrique.

Les expériences faites le 19 novembre dernier sur une poutre pleine de 20^m de portée et de $1^m,16$ de hauteur, placée dans l'entre-voie d'un pont, ont donné, dans deux mises en charge consécutives des voies adjacentes, avec les mêmes trains d'épreuves, les résultats suivants, pour des mesures faites sur 1^m, au milieu de la poutre, dans son plan axial, à sa partie supérieure et à sa partie inférieure :

	Parties	
	supérieure.	inférieure.
1re expérience	235^{mm}	263^{mm}
2e expérience	227^{mm}	277^{mm}

Les écarts en retour ont eu pour valeur maximum 4^{mm} et pour taux moyen $\frac{7}{1000}$.

Les variations de longueur correspondant à ces mesures sont, d'après les tarages des appareils, en centièmes de millimètre :

			Moyenne.	Écart à la moyenne.
1re expérience.....	$\varphi_1 = 26,7$	$\varphi_2 = 30,2$	28,45	6 pour 100
2e expérience.....	$\varphi_1 = 25,8$	$\varphi_2 = 31,8$	28,8	10 pour 100

La constance à $\frac{2}{1000}$ près de la fonction $\frac{\varphi_1 \varphi_2}{\varphi_1 + \varphi_2}$, qui semble être une mesure proportionnelle du moment élastique équilibrant, dans l'une et l'autre expérience, le moment, invariable, des forces extérieures, affirme la validité des expériences et de cette conclusion, contraire aux hypothèses fondamentales des calculs habituels, que, dans une pièce composite fléchie, le travail moléculaire à la partie supérieure et le travail à la partie inférieure sont inégaux et que leur rapport est variable.

Le commandant Renard rend compte des expériences qu'il vient d'entreprendre pour l'étude des lois de la résistance de l'air.

Indépendamment de son intérêt théorique, cette étude présente un intérêt pratique de premier ordre en ce qui concerne l'art, encore dans l'enfance, de la navigation aérienne.

A ce point de vue, on peut classer les problèmes à résoudre en trois catégories principales :

1° Mesure de la résistance de l'air au mouvement rectiligne des plans minces normaux ou obliques au courant aérien relatif;

2° Résistance des carènes aériennes, en comprenant sous ce nom l'ensemble des corps de diverses formes qui constituent un navire aérien dirigeable;

3° Puissance des propulseurs aériens.

Les deux premières catégories de résistances ont été l'objet de nombreuses expériences, et cependant l'ensemble des résultats obtenus est encore bien insuffisant. Il ne faut pas s'en prendre aux expérimentateurs, parmi lesquels on peut citer Galilée, Newton, Borda, Euler, Hutton, d'Alembert, Dubuat, colonel Duchemin, Piobert, Morin, Didion, Thibault et tant d'autres.

Il ne faut en accuser que la difficulté extrême de la question qui, pour être résolue, exigerait un travail continu et persévérant de plusieurs années et des ressources en argent plus inépuisables que celles dont les savants peuvent en général disposer.

En ce qui concerne les plans minces normaux et pour les vitesses modérées qui intéressent la navigation aérienne, on sait aujourd'hui que les résistances sont proportionnelles : 1° au carré de la vitesse; 2° à l'aire du plan (approximativement); 3° au poids spécifique du fluide.

On avait ainsi

$$R = \psi \delta S V^2$$

R résistance, ψ coefficient constant, δ poids spécifique, S aire du plan,

V vitesse). On a de plus mesuré le coefficient $\psi\delta$ pour l'air normal (0°, 760^{mm}). Les chiffres ne sont pas concordants, mais la moyenne paraît être voisine de 0,125 ou $\frac{1}{8}$, en prenant pour unités le mètre, le mètre carré et le kilogramme.

Pour les plans obliques, il y a confusion complète.

Pendant longtemps, on a admis que la composante normale N de la résistance au mouvement d'un plan mince faisant un angle α avec la direction de sa propre marche était proportionnelle au carré du sinus de l'angle α, et l'on écrivait

$$N = \varphi S V^2 \sin^2 \alpha,$$

φ ayant la même valeur que le coefficient $\psi\delta$ qui convient aux plans normaux. La discussion approfondie des anciennes expériences de Vince, Hutton et Thibault montre que cette loi doit être erronée et remplacée par celle-ci

$$N = \varphi S V^2 [a \sin \alpha - (a - 1) \sin^3 \alpha],$$

a étant un coefficient plus grand que 1 et probablement égal à 2.

On aurait ainsi pour les petits angles

$$N = 2\varphi S V^2 \sin \alpha$$

ou, plus simplement,

$$N = 2\varphi S V^2 \alpha, \tag{1}$$

au lieu de

$$N = \varphi S V^2 \alpha^2 \tag{2}$$

donnée par l'ancienne formule.

Or le choix entre ces deux formules a une importance capitale. Si la première était vraie ($N = \varphi S V^2 \alpha^2$), les oiseaux ne pourraient pas voler.

On sait maintenant, depuis les travaux de Penaud, que l'oiseau est un aéroplane, et qu'il se soutient en traînant *obliquement* ses deux ailes dans l'air.

L'extrémité des ailes est un propulseur puissant et la partie attenante au corps un plan sustentateur se présentant continuellement dans la position la plus favorable pour recevoir par en dessous le courant aérien relatif et provoquer la création d'une force normale sensiblement égale au poids de l'animal.

L'analyse du vol ainsi compris montre que : avec la loi du carré de l'angle, le travail de sustentation est indépendant de α et égal à $\sqrt{\frac{P^3}{\varphi S}}$, c'est-à-dire qu'il est constamment le même que si l'animal se servait de ses ailes en les abaissant orthogonalement. Or, pour un grand vautour de 10^{kg} ayant 1^{mq} de surface alaire, on trouve ainsi pour le travail de sustentation 90^{kgm}, chiffre invraisemblable.

Avec la loi n° 2, le travail devient égal à $\sqrt{\frac{\alpha P^3}{2\varphi S}}$, c'est-à-dire qu'il tend

vers o avec α. L'animal pourrait donc se soutenir presque sans travail, s'il diminuait convenablement l'angle d'attaque de l'air sous le plan sustentateur. Cette loi trop absolue est modifiée par l'intervention d'une *résistance à l'avancement*, qui donne lieu à un travail de la forme $\varphi\sigma V^3$, σ étant la surface plane normale équivalente à l'ensemble des résistances longitudinales. Quand α diminue, V augmente; car on a toujours, en désignant par P le poids de l'oiseau, $N = P = 2\varphi SV^2\alpha$; V varie en raison inverse de $\sqrt{\alpha}$ et le travail de progression $\varphi\sigma V^3$ augmente aussi.

Le travail total T se présente donc comme la somme de deux termes, dont l'un tend vers o avec α et dont l'autre tend vers l'infini quand α tend vers zéro.

La somme de ces deux termes présente donc un minimum, et c'est en général dans les conditions de ce minimum qu'instinctivement l'oiseau doit se placer.

On a

$$T = \sqrt{\frac{\alpha P^3}{2\varphi S}} + \varphi\sigma V^3;$$

mais

$$\alpha = \frac{P}{2\varphi SV^2},$$

donc

$$\frac{\alpha P^3}{2\varphi S} = \frac{P^4}{4\varphi^2 S^2 V^2},$$

d'où

$$T = \frac{P^2}{2\varphi SV} + \varphi\sigma V^3. \tag{3}$$

Sous cette forme, on voit que le minimum de travail a lieu quand

$$\frac{P^2}{2\varphi SV} = 3\varphi\sigma V^3,$$

c'est-à-dire quand le travail de sustentation est égal au *triple* du travail de progression.

Si nous reprenons l'exemple de notre oiseau de 10^{kg} ayant 1^{mq} de surface d'aile et si nous supposons, d'après des mesures approchées, que $\sigma = 0,001$, on trouve que, dans les conditions du minimum de travail,

$$V = 32^m,1,$$
$$\alpha = 0,039, \quad \text{soit environ } \tfrac{4}{100},$$
$$T = 16^{kgm},7,$$

soit environ $\frac{1}{6}$ du travail qui serait nécessaire dans le mouvement orthogonal.

Le commandant Renard donne ensuite un Tableau des valeurs du travail du vol pour l'oiseau dont il vient de parler, en faisant varier l'angle d'attaque de l'air α.

Ce Tableau met en évidence d'une façon plus frappante la marche inverse des deux termes de la formule (3). Cette discussion montre bien toute l'importance de la loi des plans obliques. La divergence qui existe entre les résultats numériques des divers expérimentateurs tient à ce que ceux-ci n'ont pas vu que la forme et la position du plan oblique jouent ici un très grand rôle.

Avec un plan (ruban transversal) très allongé dans le sens perpendiculaire au mouvement, c'est la loi du simple sinus qui est vraie; avec un *ruban longitudinal*, c'est la loi du sinus carré.

Un *écran* qui sert de transition entre ces deux formes donne lieu à une loi plus compliquée participant des deux lois extrêmes. De là la divergence apparente des résultats.

La résistance des carènes aériennes ne peut être calculée, dans l'état actuel de nos connaissances, qu'avec une approximation extrêmement grossière.

Enfin, nous ne savons à peu près rien sur les propulseurs aériens et, en particulier, sur les conditions de leur emploi comme appareils de sustentation.

L'auteur pense que les mesures relatives au mouvement rectiligne des plans minces et des carènes ne peuvent être convenablement effectuées qu'en ballon dirigeable. Là on peut opérer avec un mouvement relatif parfaitement rectiligne et uniforme, et facile à mesurer.

Les propulseurs, au contraire, peuvent et doivent être étudiés à terre.

L'auteur s'est occupé d'abord des hélices, en tant qu'appareils *de sustentation*.

On peut démontrer que, pour un appareil de sustentation déterminé, si P est l'effort ou poussée obtenue, T le travail consommé, le rapport $\frac{P^3}{T^2}$ est constant. C'est ce rapport qui donne la valeur de l'appareil sustentateur.

Si cet appareil est un plan mince s'abaissant normalement, on a

$$\frac{P^3}{T^2} = \varphi S,$$

φ étant le coefficient 0,125 déjà cité, et P, T et S ayant la même signification que ci-dessus.

On pourra donc comparer un sustentateur quelconque à un plan mince normal, en posant

$$\frac{P^3}{T^2} = \varphi S';$$

S' sera la surface fictive du sustentateur étudié.

On a ainsi $S' = \frac{P^3}{\varphi T^2} = \frac{8 P^3}{T^2}$ pour l'air normal.

L'auteur appelle *qualité d'un sustentateur hélicoïde* le rapport $\frac{S'}{S_1}$ de la surface fictive à la surface du cercle décrit par l'extrémité des ailes.

Il appelle *qualité des ailes* le rapport $\frac{S'}{A}$ de la surface fictive à l'*aire des ailes*.

Enfin l'*efficacité* du sustentateur est le rapport $\frac{P}{T}$, qui n'est pas constant pour un même appareil, car on a

$$\frac{P^2}{T^2} = \varphi S',$$

d'où

$$\frac{P}{T} = \sqrt{\varphi \frac{S'}{P}}.$$

L'efficacité est proportionnelle à la racine carrée du rapport $\frac{S'}{P}$.

Pour comparer les hélices sustentatrices entre elles, le commandant Renard a construit un appareil au moyen duquel on peut mesurer simultanément :

1° La poussée P;

2° Le moment résistant M;

3° La vitesse angulaire ω.

De ces deux dernières mesures on déduit le travail résistant

$$T = M\omega.$$

Pour éviter toute cause d'erreur, on pèse directement la réaction de l'air sur le sustentateur.

A cet effet, celui-ci et son moteur (une petite machine dynamo) sont montés sur un bâti suspendu à la Cardan et mobile autour de deux axes munis de couteaux en acier trempé.

L'un de ces axes est horizontal et parallèle à celui de l'hélice, l'autre est horizontal et perpendiculaire au premier.

Des plateaux qu'on peut charger de poids servent à ramener l'appareil aux deux zéros de deux graduations correspondant aux deux axes.

La lecture des poids du premier plateau donne immédiatement la valeur du moment résistant; la lecture des poids du second, la valeur de la poussée.

Un compteur muni d'un embrayage électrique permet de mesurer la vitesse angulaire sans troubler en rien l'équilibre du système.

Les moments d'oscillation sont amortis par un liquide visqueux (huile épaissie à l'air, en usage dans la fabrication des vernis aérostatiques) dans lequel se meuvent deux sphères en bronze suspendues aux deux plateaux.

Malgré les irrégularités inévitables de la marche du moteur, les pesées se font à 10^{gr} près, c'est-à-dire avec une approximation variant de $\frac{1}{100}$ à $\frac{1}{200}$.

L'auteur montre une première série d'hélices essayées le 16 janvier.

Elles ont toutes 1,525 de diamètre, quatre ailes de largeur uniforme (rectangle tordu).

La longueur de ces ailes suivant le rayon est de.....	$0^m,520$
La largeur.....	$0^m,200$
La surface totale.....	$0^{mq},416$

Les angles β de la génératrice moyenne avec la circonférence varient de 10 en 10 degrés, de 0° à 90°.

Le voile est en papier japonais très résistant. Il est double et cache la charpente intérieure. Les résultats obtenus sont très intéressants. D'après ce que nous avons dit à propos des plans minces, on doit s'attendre à voir l'hélice s'améliorer quand l'angle β diminue; mais non pas indéfiniment, car, la vitesse augmentant, il faut compter avec un terme de la forme $k\omega^3$ dû au frottement et au passage dans l'air du profil des ailes qui constituent une *carène* d'une épaisseur appréciable. Nous devons donc trouver une hélice pour laquelle $\frac{P^3}{T^2}$ ou S' est maximum. C'est ce que l'expérience confirme; mais, en outre, elle montre que ce maximum est, pour ainsi dire, un sommet pointu, à droite et à gauche duquel on tombe dans un *véritable précipice*. En un mot, il existe une hélice meilleure que les autres, et on ne peut s'en écarter notablement sans tomber dans des hélices détestables.

Un Tableau résume ces résultats.

On en a supprimé l'hélice n° 7 qui avait subi une avarie et qui n'a pu être essayée.

On y voit que l'hélice la meilleure est l'hélice n° 3; sa surface fictive $0^{mq},84$ équivaut aux $\frac{46}{100}$ de celle du cercle engendré et est *plus que double* de celle de ses quatre ailes réunies.

Les hélices n° 2 et n° 4 sont déjà bien moins bonnes.

L'hélice n° 5 est très mauvaise.

Ces premiers résultats montrent toute l'importance de ces recherches.

On peut en déduire, en se plaçant dans le cas de l'hélice n° 3, des formules générales donnant les valeurs de P, de T et de ω pour toutes les hélices semblables.

Si a est le diamètre de l'hélice, on a facilement

$$P = K\omega^2 a^4,$$
$$T = K'\omega^2 a^5.$$

Si, au lieu d'exprimer la vitesse angulaire comme on le fait ordinairement, on y substitue le nombre n de tours par seconde et qu'on introduise pour P et T les valeurs mesurées le 16 janvier pour l'hélice n° 3, on arrive aux formules numériques suivantes

$$P = 0,0234\, n^2 a^4,$$
$$T = 0,017\, n^2 a^5.$$

Si l'on voulait, par exemple, installer dans un ballon dirigeable deux hélices de 6^m de diamètre, tournant autour d'un axe vertical et destinées à parer aux variations de la force ascensionnelle, et porter à 100^{kgm} dans un sens ou dans l'autre l'effort vertical à produire, on trouverait

$$n = \sqrt{\frac{50}{0,0234 \times 6^4}} = \sqrt{\frac{50}{30,4}} = 1^{tour},28,$$

soit 77 tours par minute, et

$$T = 0,017 \times \overline{1,28}^{3} \times 6^{5} = 278^{kgm}$$

pour une des hélices, soit pour les deux 556^{kgm} ou $7^{chx},4$.

L'*efficacité* du sustentateur dans ces conditions est égale à $\frac{1}{2}$ kilogramme par kilogrammètre.

Ces expériences, bien incomplètes, seront continuées. Après avoir étudié les hélices sustentatrices, l'auteur étudiera les hélices populsives en plaçant tout l'appareil dans un courant d'air de vitesse connue et de grande section. Il espère à la fin de l'année pouvoir apporter à la Société de Physique les résultats de ses nouvelles recherches.

SÉANCE DU 1er FÉVRIER 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 janvier est élu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Arth, Chargé d'un cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences de Nancy.
Cailho, Ingénieur des Télégraphes, à Montpellier.
Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin.
Haller, Professeur de Chimie générale à la Faculté des Sciences de Nancy.
Monnory (Henri), Professeur de Physique à l'École normale de Cluny.

M. J. Janssen, membre de l'Institut, nommé membre honoraire, adresse ses remerciements à la Société.

M. Vaschy expose le résultat de ses calculs au sujet de la propagation du courant sur une ligne télégraphique. Si l'une des extrémités (départ) de la ligne est mise en communication avec une pile de force électromotrice E, et l'autre extrémité (arrivée) avec le sol, en tenant compte seulement de la capacité Cl et de la résistance Rl du fil supposé de longueur l, on sait que le courant à l'arrivée croît graduellement de zéro jusqu'à un maximum et peut être représenté par une courbe dont la forme est la même pour toutes les lignes (courbe de Sir W. Thomson).

En introduisant dans les calculs la self-induction Ll de la ligne, on trouve : 1° qu'à chaque valeur du rapport $\frac{L}{CR^2 l^2}$ correspond une forme particulière du courant d'arrivée; 2° que le front de l'onde électrique

transmise le long du fil marche le long de celui-ci avec une vitesse uniforme égale à $\frac{1}{\sqrt{CL}} = a$, son amplitude décroissant en progression géométrique suivant la loi $e^{-\frac{Rx}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}}$; 3° que l'onde subit des réflexions successives aux extrémités de la ligne, comme une onde sonore dans un tuyau.

M. Vaschy montre quelques spécimens de courbes du courant d'arrivée. Ces courbes ont été construites par M. Barbarat. L'une d'elles, correspondant à la valeur $\frac{L}{CR^2 l^2} = 18,5$, se confond presque avec une droite parallèle à l'axe des temps; son ordonnée, nulle jusqu'au temps $t = \frac{l}{a}$, prend alors brusquement la valeur 1, s'en écarte ensuite de moins de 0,05 et finit par tendre vers 1, qui est sa valeur limite. Ce cas, qui est intéressant au point de vue des applications à la télégraphie, se présente sur des lignes aériennes assez longues et sur des lignes souterraines courtes.

La courbe du courant d'arrivée se confond avec celle donnée par Thomson lorsque le rapport $\frac{L}{CR^2 l^2}$ descend au-dessous de $\frac{1}{4000}$, ce qui est le cas de longues lignes souterraines ou sous-marines. Mais la courbe du courant de départ que l'on construit en faisant abstraction de la self-induction n'est exacte dans aucun cas.

La méthode de calcul employée est semblable à celle que l'on suit dans la théorie de Sir W. Thomson. On a à intégrer l'équation

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR\frac{\partial V}{\partial t} + CL\frac{\partial^2 V}{\partial t^2},$$

et pour cela on a recours à une série de Fourier, de la forme

$$\frac{V}{E} = 1 - \frac{x}{l} + \sum_{n=1}^{n=\infty} A e^{\alpha t} \sin\frac{n\pi x}{l},$$

dont on détermine les coefficients α et A par les conditions initiales. Quelques précautions sont nécessaires pour calculer les variations brusques du courant d'arrivée aux temps $t = \frac{l}{a}, \frac{3l}{a}, \frac{5l}{a}, \ldots$.

M. Bichat, après avoir rappelé l'expérience fondamentale de M. Hertz, fait un résumé rapide des travaux publiés en Allemagne par MM. Arrhenius, E. Wiedemann et Ebert, Hallwachs; en Russie par M. Stoletow; en Italie par M. Righi; il rend compte enfin des recherches qu'il a effectuées en collaboration avec M. Blondlot, au sujet des phénomènes dits *actino-électriques*.

En éclairant à travers une lame de quartz les deux boules d'un excitateur relié, d'une part, à l'un des pôles d'une machine de Holtz, d'autre part, à

la terre par l'intermédiaire d'un tube de Geissler ou d'un téléphone, MM. Wiedemann et Ebert ont reconnu que l'illumination de la boule positive ne produit aucun effet, mais que l'illumination de la boule négative peut augmenter dans le rapport de 4 à 3 la hauteur du son rendu par le téléphone. L'effet produit est plus grand quand les boules de l'excitateur sont plongées dans l'hydrogène ou l'acide carbonique que si les étincelles éclatent dans l'air. La pression des gaz a également une influence, aussi bien que la nature du métal, et l'on peut enfin obtenir des effets certains quand l'étincelle se produit entre une boule métallique et certains liquides.

M. Hallwachs relie un plateau métallique à un électroscope à feuilles d'or et il constate que l'illumination du plateau par un arc électrique active la déperdition, quand l'ensemble ainsi constitué est électrisé négativement, et reste sans effet s'il est, au contraire, électrisé positivement. Formant un spectre avec un prisme de quartz, il montre directement que les radiations efficaces sont les radiations violettes et ultra-violettes.

Dans ces expériences, faites avec des corps chargés à un haut potentiel, on peut montrer que certaines substances, comme le verre, ne se laissent pas traverser par les rayons efficaces et que d'autres substances, comme le quartz, le gypse, le spath fluor, sont transparentes pour ces mêmes radiations.

Les expériences de MM. Righi et Stoletow sont relatives à l'influence des radiations ultra-violettes sur certains phénomènes électriques obtenus à basse tension. Un plateau et un grillage métalliques, disposés parallèlement l'un à l'autre à une très petite distance, sont reliés soit à un électromètre (Righi), soit à une pile de 100 éléments de Volta et à un galvanomètre à très grande résistance (Stoletow). Quand on illumine le plateau à travers les mailles du grillage, on constate une déviation du galvanomètre si le plateau est relié au pôle négatif de la pile; si le plateau est, au contraire, relié au pôle positif, l'illumination reste sans effet. On obtient des effets certains, sans pile, en employant un grillage et un plateau formés de métaux différents.

La nature du gaz interposé entre la plaque et le grillage a une influence : avec l'acide carbonique, on obtient un courant deux fois plus intense qu'avec l'air. Le gaz de l'éclairage, les vapeurs de sulfure de carbone sont des absorbants assez énergiques. Il n'y a pas de différence sensible entre l'air sec et l'air humide; enfin l'effet croît quand on raréfie les gaz jusqu'à 3^{mm} ou 4^{mm}.

MM. Bichat et Blondlot ont constaté que l'effet est nul quand, dans l'expérience de M. Stoletow, on remplace la lame métallique par une lame d'eau. Cela tient au contraste des propriétés absorbantes des deux corps; si l'on répète en effet l'expérience fondamentale de M. Stoletow, en interposant entre la source de lumière et le grillage une lame d'eau entièrement libre de quelques millimètres d'épaisseur, capable d'absorber plus de la moitié de la chaleur incidente, la déviation galvanométrique n'est pas modifiée. En mettant à la place de la lame métallique une feuille de car-

ton blanc, on obtient un effet très faible. L'effet devient considérable si l'on remplace le carton blanc par du carton recouvert de plombagine ou de noir de fumée. L'encre ne donne rien. M. Stoletow a constaté que les dissolutions concentrées de fuchsine ou de violet d'aniline dans l'eau se comportent comme un métal.

M. Bichat a montré que le passage de l'électricité à travers les gaz, sous l'influence de l'illumination, doit s'effectuer par voie de convection. Un tourniquet électrique à fils, électrisé négativement, commence à tourner, à la lumière diffuse, pour un potentiel de 63 unités C.G.S. Éclairé par un arc riche en rayons ultra-violets, le potentiel de départ tombe à 20 unités C.G.S.

Un métal illuminé et placé à une grande distance de tout autre corps s'électrise en général positivement. Dans les mêmes circonstances, une plante s'électrise en général négativement : l'air qui environne la plante est donc électrisé positivement.

MM. Bichat et Blondlot ont montré que les effets observés, soit dans les expériences de M. Righi, soit dans les expériences de M. Stoletow, sont considérablement augmentés quand on insuffle sur le plateau de l'air sec comprimé à 8^{atm}. L'insufflation, sans illumination, ne produit aucune action. Ils ont démontré que l'électricité qui est enlevée par insufflation n'est pas prise à la charge statique du plateau. Tous les faits observés peuvent être expliqués en admettant que l'action combinée de la lumière et de l'insufflation agit non seulement sur la charge apparente de la surface du plateau due à son électrisation préalable, mais encore sur la moitié située dans l'air de la couche double qui produit la différence électrique entre le métal et l'air.

Toutes les expériences peuvent être facilement répétées en employant la lumière fournie par une machine Gramme (type d'atelier) débitant 30^{amp} à 35^{amp} avec une différence de potentiel de 40^{volts} aux bornes du régulateur. On augmente singulièrement les effets en formant l'âme du charbon positif soit d'un fil de magnésium, soit d'un fil de zinc, soit d'un fil d'aluminium.

La plupart des expériences sont reproduites sous les yeux de la Société avec le concours de M. Pellin, auquel M. Bichat adresse ses remerciements.

Sur les phénomènes dits actino-électriques;

PAR M. E. BICHAT.

Au cours de ses belles recherches sur les oscillations électriques, M. Hertz [1] découvrit un fait singulier et bien inattendu.

---

[1] *Wied. Ann.*, t. XXXI, p. 983; 1887.

Une bobine de Ruhmkorff étant reliée à un excitateur, on écarte les branches de ce dernier jusqu'au moment où l'étincelle cesse de se produire. Si, à ce moment, on éclaire cet excitateur par une étincelle obtenue au moyen d'une seconde bobine de Ruhmkorff, on constate que les étincelles éclatent de nouveau et, par suite, que le fait seul de l'éclairement a augmenté la distance explosive. M. Hertz a démontré, en effet, que le fait observé ne dépend, en aucune façon, d'une action électrique; il suffit, pour l'obtenir, d'éclairer l'excitateur par une source de lumière quelconque riche en rayons ultra-violets.

Le phénomène découvert par M. Hertz fut étudié en Allemagne par MM. Arrhenius (1), Wiedemann et Ebert (2), M. Hallwachs (3); en Italie, par M. Righi (4); en Russie, par M. Stoletow (5). Nous avons pu, M. Blondlot et moi (6), ajouter un certain nombre de faits nouveaux à ceux qui étaient antérieurement connus.

MM. Wiedemann et Ebert, dans leurs premières recherches, adoptèrent la disposition suivante : les deux branches d'un excitateur étaient disposées parallèlement à l'axe d'un tube de verre portant, au niveau des boules, une ouverture fermée par une plaque de quartz. Une lentille de quartz permettait de concentrer sur l'une ou l'autre des boules de l'excitateur les radiations d'une lampe électrique placée à une certaine distance. L'une des boules était reliée à l'un des pôles d'une machine de Holtz et l'autre boule était mise en communication avec la terre par l'intermédiaire d'un tube de Geissler ou d'un téléphone.

Si l'on éclaire la boule positive, l'aspect du tube de Geissler ne change pas et le son rendu par le téléphone conserve la même hauteur.

Si l'on éclaire au contraire la boule négative, on observe un changement fort appréciable dans l'aspect du tube de Geissler, et

---

(1) *Wied. Ann.*, t. XXXII, p. 545, et t. XXXIII, p. 638.
(2) *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 241, et t. XXXV, p. 209.
(3) *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 301, et t. XXXIV, p. 731.
(4) *Rend. R. Accad. Roma*, t. IV, p. 185, 498, 578.
(5) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CVI, p. 1149, 1593, et CVII, p. 91.
(6) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. CVI, p. 1349, et t. CVII, p. 29 et 557.

le changement de hauteur du son rendu par le téléphone indique que le nombre des décharges dans l'unité de temps augmente environ dans le rapport de 4 à 3. L'illumination reste d'ailleurs sans effet si les boules de l'excitateur se trouvent soit au-dessus, soit au-dessous de la plaque de quartz, de telle sorte que la lumière soit obligée, pour les frapper, de traverser la paroi en verre du tube qui les contient. Ils constatèrent que la nature du métal a une influence : le platine, le zinc, le cuivre donnent des effets très marqués; le fer, l'aluminium, l'argent donnent des effets très faibles. En faisant éclater une étincelle entre un métal et un liquide, ils constatèrent que les liquides colorés, en général, se conduisent comme les métaux.

La nature du gaz a une influence : ainsi l'effet produit est plus grand avec l'hydrogène qu'avec l'air; il est plus grand encore avec l'acide carbonique qu'avec l'hydrogène. Enfin l'effet croît quand on raréfie le gaz jusqu'à une pression de $0^m,03$ à $0^m,04$; il décroît ensuite si l'on continue à faire le vide. La pression du maximum d'effet varie d'ailleurs avec la nature du gaz.

M. Wilhelm Hallwachs a employé, pour ses recherches, une méthode complètement différente. Un plateau métallique parfaitement isolé est relié à un électroscope à feuille d'or également bien isolé. On électrise l'électroscope; si les isolants sont bons, la divergence des feuilles peut se maintenir pendant un temps très long. Au moyen d'un arc électrique on peut illuminer le plateau métallique. Si l'électrisation du système plateau et électroscope est positive, on constate que l'illumination ne modifie pas la déperdition d'une manière sensible. Si l'électrisation est négative, l'illumination du plateau produit un rapprochement très rapide des feuilles d'or.

En interposant diverses substances sur le trajet de la lumière, M. Hallwachs a pu dresser une liste des corps plus ou moins transparents pour les radiations efficaces. Parmi les corps transparents, je citerai le quartz, le gypse, le spath-fluor et, parmi les corps non transparents, le verre et le mica.

Par une expérience très simple, M. Hallwachs détermina d'une manière précise la nature des radiations efficaces. Pour cela, il forma un spectre avec un prisme de quartz et il constata que les radiations rouges et infra-rouges n'ont aucune action et que les

radiations violettes et ultra-violettes produisent seules un rapide rapprochement des feuilles d'or.

Toutes les expériences qui précèdent sont relatives aux changements apportés par les radiations ultra-violettes à certains phénomènes électriques observés avec des appareils chargés à un haut potentiel. Presqu'à la même époque, MM. Righi et Stoletow ont montré que cette influence des radiations ultra-violettes se fait encore sentir sur les corps chargés à un potentiel relativement faible.

La disposition expérimentale employée par ces deux physiciens est la même : une lame métallique et un grillage sont disposés parallèlement l'un à l'autre à quelques millimètres de distance. M. Righi relie simplement ces deux conducteurs aux deux paires de quadrants d'un électromètre; M. Stoletow relie la lame pleine au pôle négatif d'une pile d'une centaine d'éléments de Volta, le grillage au pôle positif et, sur le circuit, il intercale un galvanomètre astatique à très grande résistance de Sir W. Thomson. Si l'on éclaire la lame négative à travers la toile métallique au moyen d'un arc électrique, on constate une déviation du galvanomètre. Si le grillage est, au contraire, relié au pôle négatif et la lame au pôle positif, la déviation est nulle. Avec cet appareil, comme avec celui de M. Hallwachs, on constate que le quartz est transparent et que le verre est opaque pour les radiations efficaces. Quand le grillage et le plateau sont constitués par des métaux différents, le grillage étant positif par rapport au plateau, on obtient des effets sans l'interposition d'aucune pile.

M. Righi a constaté que certains gaz, comme le gaz d'éclairage ou les vapeurs de sulfure de carbone, absorbent fortement les radiations efficaces. L'air lui-même absorbe notablement. M. Stoletow a constaté que l'acide carbonique donne un courant deux fois plus intense que l'air. Enfin on retrouve l'influence de la pression déjà observée avec les appareils chargés à un haut potentiel.

Il nous a semblé intéressant, à M. Blondlot et à moi, d'examiner quelles modifications pourraient apporter à ces curieux phénomènes divers changements dans les conditions expérimentales. En premier lieu, nous avons recherché ce qui arriverait si l'on remplaçait la lame métallique négative destinée à recevoir les radiations par un liquide. A cet effet, nous avons substitué à

cette lame métallique une plaque de verre presque verticale; sur la face de cette plaque tournée vers la toile métallique, on faisait ruisseler un courant d'eau amené par un tube percé de trous, en communication avec un réservoir isolé. La lame d'eau ainsi obtenue était reliée au pôle négatif d'une pile constituée par 80 éléments de Volta. Le reste de l'appareil était disposé comme dans l'expérience de M. Stoletow. Afin d'augmenter l'effet de l'arc voltaïque, on employait comme charbon positif un charbon contenant une âme formée par un fil d'aluminium.

L'expérience ainsi faite nous a montré que, lors de l'illumination, l'*aiguille du galvanomètre reste rigoureusement au zéro.* Or, dans les mêmes conditions, en substituant une lame métallique à une lame d'eau, on obtenait sur l'échelle du galvanomètre une déviation de plus d'un mètre. Cette expérience démontre l'inefficacité complète des radiations lorsqu'elles sont reçues par une lame d'eau.

Afin d'écarter l'objection qui pourrait être faite en raison du mouvement du liquide dans le dispositif précédent, nous avons répété notre expérience en disposant la toile métallique horizontalement au-dessus d'un cristallisoir rempli d'eau et en produisant l'illumination par le haut. Cette fois encore le résultat a été rigoureusement négatif.

Ayant pensé que la disparition du phénomène lors de la substitution d'une lame d'eau à une lame métallique pouvait tenir au contraste des propriétés absorbantes des deux corps, nous avons répété l'expérience de M. Stoletow avec la lame de métal, en interposant sur le trajet des radiations une lame d'eau entièrement libre de 2^{mm} ou 3^{mm} d'épaisseur, obtenue en faisant écouler ce liquide par un large ajutage aplati. Nous avons constaté que l'interposition de cet écran d'eau ne diminue en rien la déviation galvanométrique. Il faut en conclure que, dans les conditions où nous avons opéré, *la transparence de l'eau pour les rayons efficaces est parfaite.* Il y a là une preuve que les rayons efficaces ne sont pas les rayons calorifiques; car nous avons constaté que notre lame d'eau absorbait plus de la moitié de la chaleur incidente. M. Hallwachs avait déjà reconnu qu'une mince couche d'eau mouillant une lame de gypse verticale placée sur le trajet des radiations ne diminuait pas leur action sur le passage de l'électricité à haute tension au travers des gaz.

Voici encore quelques faits que nous avons observés : en remplaçant dans l'expérience décrite plus haut l'eau du cristallisoir par de l'encre, nous avons constaté l'inefficacité de l'illumination; le carton blanc produit un effet certain, quoique faible; mais cet effet devient très considérable si l'on recouvre le carton de noir de fumée ou de plombagine.

M. Stoletow a constaté, de son côté, que les solutions de fuchsine et de violet d'aniline se comportent comme un métal. Plus le liquide est opaque pour les rayons efficaces, plus il est capable de servir comme lame sensible.

Tous ces faits montrent que l'illumination permet le passage du courant entre le plateau et le grillage de l'appareil employé par M. Stoletow. Ce transport de l'électricité s'effectue-t-il par voie de conduction ou par voie de convection? Il m'a paru intéressant de résoudre cette question.

Le fait seul que l'on n'obtient aucune déviation du galvanomètre quand, dans l'expérience de M. Stoletow, on remplace la lame métallique par une lame d'eau, semble prouver que le transport de l'électricité ne s'effectue point par voie de conduction. Les expériences suivantes confirment cette manière de voir.

Un cylindre métallique enduit intérieurement de noir de fumée est électrisé négativement et mis en relation avec un électromètre. On constate que la déperdition n'est pas modifiée quand on éclaire l'intérieur du cylindre, au moyen d'une ouverture latérale, par des radiations ultra-violettes, tandis qu'elle est considérablement accélérée quand on fait tomber le faisceau de lumière électrique sur l'extérieur du cylindre. Ici encore, si le faisceau lumineux constituait une sorte de conducteur, il serait également apte à effectuer la décharge en touchant un point extérieur ou intérieur du cylindre métallique.

Le tourniquet électrique que j'ai récemment décrit ([1]), placé dans un cylindre conducteur non isolé, commençait à se mettre en mouvement, à la lumière diffuse, pour un potentiel négatif de 63 unités C.G.S. Illuminé par un arc électrique dont le charbon positif contenait une âme en aluminium, il commença à tourner d'une manière douteuse pour un potentiel de 22 (C.G.S.). L'in-

---

([1]) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 7 mai 1888.

terposition d'une lame de verre suffit pour empêcher tout effet de l'illumination.

Il semble donc que la convection joue le rôle essentiel dans les phénomènes qui nous occupent.

Les expériences suivantes, que nous avons réalisées, M. Blondlot et moi, montrent que ces phénomènes de convection peuvent être singulièrement facilités quand, à l'effet de l'illumination, on ajoute celui que peut produire un vif courant d'air.

I. Un plateau et un grillage, découpés dans la même feuille de laiton et bien décapés, sont disposés en regard l'un de l'autre. On fait tomber sur le plateau, à travers les mailles du grillage, un faisceau de lumière électrique obtenu en employant un charbon positif contenant une âme en aluminium. Le plateau est relié à l'une des paires de quadrants d'un électromètre, l'autre paire de quadrants étant reliée au grillage et au sol. On constate que le plateau prend, par l'illumination, une charge positive, c'est-à-dire perd de l'électricité négative. Le potentiel qu'il acquiert est de 3 à 4 volts.

II. Les choses étant ainsi disposées, si l'on vient à diriger contre le plateau un courant d'air, on constate aussitôt que la déviation de l'électromètre devient six à sept fois plus grande. L'expérience réussit avec de l'air parfaitement desséché, comprimé dans un réservoir jusqu'à 8^{atm}; on obtient déjà des effets très marqués en agitant simplement l'air dans le voisinage du plateau à l'aide d'une feuille de carton. Tout effet de l'insufflation disparaît d'ailleurs quand on supprime la lumière.

III. Il faut remarquer que, dans cette expérience, la face du plateau sur laquelle on fait agir la lumière ne possède au début aucune charge, puisque, à ce moment, le plateau et le grillage, ayant été reliés l'un à l'autre, sont au même potentiel. L électricité négative enlevée par l'illumination ou par le souffle ne provient donc pas d'une charge statique apparente existant à la surface du plateau.

On pouvait objecter toutefois que l'état physique des surfaces du grillage et du plateau n'est peut-être pas identique et que,

par suite, il existe de petites charges statiques sur les faces en regard du condensateur qu'ils forment. Pour éclaircir ce doute, nous avons fait l'expérience suivante. Au lieu de mettre le grillage en communication avec le sol, on le relie au pôle négatif d'une pile dont le pôle positif est au sol. En employant une pile de force électromotrice d'environ 2 volts, on peut être sûr, lorsque le plateau est relié au sol, que sa face interne est revêtue d'une charge positive, puisque les différences de potentiels entre les couches qui recouvrent deux métaux en contact n'atteignent jamais cette valeur. Les choses étant ainsi disposées, le plateau est mis en communication avec l'un des pôles d'un électromètre, dont l'autre pôle est constamment au sol. On l'illumine alors, et l'on constate qu'il devient négatif, c'est-à-dire qu'il perd de l'électricité positive. Si maintenant on insuffle de l'air sur le plateau, on voit aussitôt la déviation de l'électromètre changer de sens et devenir très grande, ce qui indique que le plateau perd de l'électricité négative, bien qu'il soit recouvert d'une couche d'électricité positive. Il est donc certain que *l'électricité qui est enlevée par l'insufflation n'est pas prise à la charge statique du plateau.*

En remplaçant l'électromètre par un galvanomètre très sensible, on peut observer des faits analogues aux précédents.

1. Le grillage et le plateau étant réunis par l'intermédiaire du galvanomètre sans l'interposition d'aucune pile, si l'on illumine le plateau à travers le grillage, on ne constate la production d'aucun courant appréciable. Si l'on vient à diriger sur le plateau un courant d'air sec à une pression de 7^{atm} à 8^{atm}, on constate aussitôt la production d'un courant qui indique que le plateau perd de l'électricité négative : c'est la répétition, sous une autre forme, de la première expérience faite avec l'électromètre, avec cette différence toutefois que le galvanomètre, moins sensible que l'électromètre, n'indique pas le dégagement de l'électricité sous l'influence de la lumière seule avant l'insufflation [1].

---

[1] Cette moindre sensibilité fait que certaines expériences, qui réussissent avec l'électromètre, donnent un résultat négatif avec le galvanomètre. C'est ainsi que M. Stoletow n'a obtenu aucun résultat en remplaçant, dans une expérience que nous avons précédemment décrite, la lame d'eau par une feuille de carton mouillé. En réalité, avec l'électromètre, le carton mouillé donne un effet des plus marqués.

2. Si l'on intercale dans le circuit une pile de 60 éléments de Volta dont le pôle négatif est relié au plateau, l'illumination donne, comme on sait, naissance à un courant. Si, lorsque le courant est devenu constant, on insuffle de l'air sec sur le plateau, on observe une forte augmentation de la déviation galvanométrique. Il peut arriver cependant exceptionnellement, dans des circonstances que nous n'avons pu définir encore, que l'insufflation produise, au lieu d'une augmentation, une légère diminution de la déviation.

Tous ces phénomènes ne se produisent que grâce à l'illumination : l'insufflation sans illumination reste absolument sans effet.

Nous croyons que tous les faits que nous venons de décrire peuvent être expliqués en admettant que l'action combinée de la lumière et de l'insufflation agit non seulement sur la charge apparente de la surface du plateau due à son électrisation préalable, mais encore sur la moitié située dans l'air de la couche double qui produit la différence électrique entre l'air et le métal. Il suffit de supposer que le métal est positif par rapport à l'air. Les courants produits par l'insufflation nous paraissent tout à fait analogues à ceux que l'on obtient en plongeant deux lames métalliques dans un électrolyte et agitant l'une d'elles.

En terminant, j'indiquerai certains faits montrant l'action des radiations ultra-violettes dans des circonstances qu'il me paraît ntéressant de signaler.

Si l'on éclaire par des radiations ultra-violettes un conducteur quelconque relié à un électromètre, on constate que l'électromètre devient aussitôt positif et atteint un potentiel de 7 à 8 volts, c'est-à-dire que l'air en contact avec le conducteur se charge négativement. C'est l'expérience de M. Righi sous une autre forme.

On a observé exceptionnellement, dans le cuivre, une électrisation négative de l'électromètre; mais la charge acquise dans ce cas par l'électromètre était toujours très faible.

Les potentiels les plus élevés ont été obtenus en éclairant, dans les conditions indiquées plus haut, une plante quelconque disposée sur un support isolant. Ici la règle générale est que l'électrisation produite sous l'influence de l'illumination est *négative*. La déviation de l'électromètre peut atteindre et dépasser 200 divisions, ce qui correspond à un potentiel supérieur à 20 volts. L'air qui environne la plante est donc électrisé positivement. Une seule

fois, avec un géranium, on a obtenu une électrisation positive de la plante.

Après avoir passé en revue toutes ces expériences, il y aurait lieu de les coordonner et de leur chercher une explication. Un essai de ce genre a été fait par M. Wiedemann; nous ne le suivrons point sur ce terrain. Nous pensons qu'il est préférable, pour le moment du moins, de rester dans le domaine des faits. Il est problable d'ailleurs que cette action singulière des radiations ultra-violettes n'est pas seulement capable de s'exercer sur certains phénomènes électriques, mais qu'elle doit aussi se manifester dans des phénomènes qui dépendent des propriétés superficielles des corps.

SÉANCE DU 15 FÉVRIER 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Kreichgauer, docteur ès sciences, aide au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres.

Rau, administrateur de la Société Edison, à Paris.

A propos de la lecture du procès-verbal, M. Potier présente les observations suivantes :

Dans la dernière séance, M. Vaschy a donné, pour la propagation du courant dans une ligne télégraphique, des équations notablement différentes de celle de Sir W. Thomson. Comme celui-ci, M. Vaschy admet que, malgré l'état variable du courant, il n'y a aucune charge à l'intérieur du conducteur, et que le potentiel est le même en tous les points d'une section, ce qui l'autorise à poser l'équation de continuité sous la forme $C\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial i}{\partial x}$; mais, au lieu d'écrire, comme Sir W. Thomson, que la différence de potentiel entre deux sections est le produit de la résistance par l'intensité, c'est-à-dire $Ri = -\frac{\partial V}{\partial x}$, M. Vaschy introduit un terme $L\frac{\partial i}{\partial t}$, qui représente, suivant lui, la force électromotrice due à la self-induction, de sorte qu'on aurait $Ri + L\frac{\partial i}{\partial t} = -\frac{\partial V}{\partial x}$.

L'élimination de i conduit à une équation semblable à celle qu'on ren-

contre dans la théorie des cordes vibrantes dans un milieu résistant, et d'où résulterait l'existence d'ondes électriques se propageant avec une vitesse déterminée $(CL)^{-\frac{1}{2}}$, tout en s'affaiblissant et se réfléchissant partiellement en tous les points où cette vitesse éprouve une variation brusque. C'est cette seconde équation qui paraît soulever quelques objections. Le coefficient L qui y entre est le quotient de la self-induction totale de la ligne par sa longueur d'après M. Vaschy; on peut bien admettre que, si *dans toute sa longueur* la ligne est effectivement parcourue par le courant i, la force électromotrice induite dans chaque unité de longueur est effectivement $L \frac{\partial i}{\partial t}$; mais, dans le cas étudié, cette intensité est précisément variable d'un point à l'autre, et c'est même cette variation que l'on cherche; par suite, $\frac{\partial i}{\partial t}$ varie d'un point à l'autre, et la force électromotrice induite dans un élément de la ligne, intégrale des forces induites par la variation du courant dans chaque élément, dépend des variations simultanées dans tous les éléments, et non de la variation dans l'élément considéré seulement. Si l'on tient compte de cette circonstance, on arrive à une équation différentielle d'ordre plus élevé, dont l'intégration exigerait quelques développements, mais qui présente la même particularité que celle de Sir W. Thomson, c'est-à-dire que pour deux fils de même nature et de même section les durées de propagation sont proportionnelles aux carrés des longueurs.

Le procès-verbal est adopté.

M. Mascart, Président : J'ai un pénible devoir à remplir, c'est de vous annoncer la mort d'un des dignitaires de notre Société, M. *Broch*, qui était membre honoraire depuis l'année 1878.

En choisissant M. Broch pour cette distinction exceptionnelle, vous avez eu l'intention non seulement de rendre hommage aux nombreux travaux dont il a enrichi la Science, mais aussi de donner un témoignage d'estime particulier pour le caractère de l'homme et une sorte de consécration solennelle à la sympathie générale qu'il avait acquise pendant plusieurs années de séjour dans notre pays.

M. Broch était né à Friedrikstad en 1818. Il fit ses premières études à Christiania; il compléta son instruction d'abord à Paris, en suivant les cours de Cauchy, ceux de l'Ecole Polytechnique, du Collège de France, puis à Berlin et à Kœnigsberg, où il fut un des élèves de Jacobi.

De retour à Christiania en 1848, il fut successivement professeur de Mathématiques à l'Université, député aux Etats de Norvège, membre du Conseil supérieur de Guerre, ministre de la Marine et des Postes en 1869, puis délégué de la Suède et de la Norvège à la plupart des conférences internationales qui avaient trait aux questions ayant un caractère économique ou scientifique, les expositions, la propriété industrielle, les mon-

naies, les câbles sous-marins, les unités électriques, les poids et mesures, etc.

M. Broch s'occupa d'abord de Mathématiques pures et il eut l'honneur d'attirer l'attention de Cauchy par un travail sur une classe d'intégrales transcendantes; mais c'était un esprit heureusement doué, capable de fournir les preuves d'un talent supérieur dans toutes les questions qu'il abordait par curiosité scientifique, par devoir professionnel ou par un sentiment patriotique élevé chaque fois qu'il trouvait une occasion de servir son pays.

Dans le domaine de la Physique, il publia différents travaux sur les lois générales du mouvement ondulatoire, sur la théorie de la dispersion de la lumière, sur la propagation de la lumière dans les corps doués du pouvoir rotatoire. Dès l'année 1846, aussitôt après la publication des recherches classiques de MM. Fizeau et Foucault sur l'analyse spectrale des interférences, il indiquait une application de cette méthode à la mesure du pouvoir rotatoire.

Comme analyste, il publia un *Traité de Mécanique supérieure,* une *Théorie des fonctions elliptiques,* un *Traité d'Arithmétique et d'Algèbre,* enfin des *Leçons sur les Mathématiques supérieures.*

Dans les intervalles de ces travaux d'ordre purement scientifique, il s'occupait de la création des banques et des établissements de crédit, des travaux publics et intervint pour une part importante dans toutes les mesures économiques qui intéressaient sa patrie.

Les missions qu'il eut à remplir à l'étranger lui imposèrent de nouvelles obligations pour lesquelles il fit preuve d'une aptitude inattendue. A l'occasion de l'Exposition d'hygiène à Bruxelles, en 1876, où il était président de la Commission norvégienne, il rédigea en dix semaines un ouvrage important intitulé *La Norvège et le peuple norvégien.* Il devint ainsi hygiéniste et économiste par occasion et se plaça aussitôt au premier rang par des publications remarquées, telles que *La crise agricole en Europe, Les excitants modernes, La lutte contre l'alcoolisme en Norvège.*

La Commission internationale des Poids et Mesures l'amène sur un terrain tout différent. Il y montre la même compétence et une activité incomparable. Expérimentateur, il a toute la sûreté de main et de coup d'œil nécessaire pour mesurer les centièmes de micron ou les millièmes de degré et pour peser les millièmes de milligramme.

Le calcul des observations et la discussion des méthodes paraît être son travail de prédilection. Il calcule et discute à nouveau les expériences de Regnault sur la tension de la vapeur d'eau et la dilatation du mercure, imagine des Tables nouvelles pour les corrections du baromètre, pour la réduction des comparaisons de longueurs et de pesées, publie des Tables de logarithmes et de carrés, toutes remarquables par la netteté de la disposition typographique et la facilité d'emploi. Enfin il soumet ses observations et celles de ses collaborateurs au crible de la théorie des probabilités pour en tirer l'extrême limite de précision qu'elles peuvent comporter.

Cette compétence étendue ne tarda pas à lui donner un rôle prépondé-

rant dans la Commission internationale, à laquelle il apportait une si grande somme de travail. Il inspirait confiance par la loyauté de son caractère et son sentiment de justice. Invité par ses collègues à prendre la direction du Bureau de Breteuil, il y voit un nouveau devoir à remplir et accepte l'obligation de vivre ainsi pendant la plus grande partie de l'année éloigné de son pays.

M. Broch aimait la France et on lui rendait cet attachement avec usure. Il suivait avec assiduité les séances de l'Académie des Sciences, dont il était Correspondant. On le retrouvait dans la plupart des Sociétés savantes et sa compagnie était partout recherchée. La Société de Physique le comptait parmi ses plus fidèles; il assistait à toutes les réunions de notre Conseil. Très affaibli par la maladie depuis plusieurs mois, il était obligé de renoncer à tout déplacement et il prit encore le soin de se faire excuser de ne pouvoir prendre part à notre dernière séance du Conseil; nous lui fîmes parvenir l'expression de tous nos regrets et de nos souhaits sincères de voir sa santé se rétablir. Ce fut notre dernière communication avec lui; il s'éteignit le lendemain.

Cette mort a été un deuil public dans les pays scandinaves, où M. Broch jouissait d'une popularité générale. La Société de Physique ne peut pas voir disparaître une si noble figure sans lui adresser un dernier adieu. Rien ne peut affaiblir la douleur de sa famille, qu'il avait expatriée par dévouement à la Science et qui n'a plus qu'une dépouille à remporter pieusement. Nous nous bornerons à lui transmettre l'expression d'une respectueuse sympathie et les regrets unanimes de la Société française de Physique.

M. Mascart présente à la Société les expériences de M. Weyher sur la production des trombes aériennes. Au fond d'une grande cage cubique, ouverte seulement à la partie supérieure et fermée en avant par une glace sans tain, est un bassin contenant de l'eau chaude. A la partie supérieure, une sorte de tambour de basque tourne rapidement autour de son axe placé verticalement. On voit bientôt le nuage formé à la surface de l'eau se rassembler et s'élever jusqu'au tambourin en une colonne étroite qui rappelle absolument le phénomène de la trombe. Cette colonne est visiblement animée d'un mouvement hélicoïdal *ascendant à l'extérieur*. La partie centrale se détache en noir sur le fond blanc; elle est le siège d'un *mouvement descendant*. Pour le mettre en évidence, M. Weyher introduit au centre un fumeron : la fumée descend jusqu'à la surface de l'eau.

Un petit ballon gonflé d'air, abandonné dans la cage, décrit autour de la trombe une courbe hélicoïdale, puis s'élève dans celle-ci.

L'eau chaude est remplacée par de l'eau de savon dans laquelle on forme de nombreuses bulles. Sous l'influence du tourbillon aérien, ces bulles s'amassent de manière à donner une excellente image du *buisson* qui se forme sur une mer moutonneuse. Même expérience en remplaçant les bulles par une soixantaine de petits ballons.

Dans tous les cas, l'eau du bassin se met à tourner dans le sens du cyclone.

Dans la partie centrale de la trombe, et du haut en bas, la pression est inférieure à la pression atmosphérique. M. Weyher le montre en y introduisant un tube en relation avec un manomètre spécial.

M. Weyher produit encore le cyclone au-dessus d'une table sur laquelle il jette une pièce de monnaie en la faisant tourner entre les doigts; la pièce est comme captivée par le tourbillon et continue à tourner indéfiniment dans la région centrale.

Une autre expérience met en évidence le calme qui règne au centre d'un cyclone. Un tambour plus large que le précédent tourne moins vite à quelque distance d'une table garnie de petits pavillons. Tous sont vivement agités dans la région atteinte par le cyclone, excepté ceux du centre. C'est en ce point d'ailleurs que la pression est le plus faible.

Une expérience plus curieuse encore est celle de la *sphère tournante*. Cette sphère est constituée par un certain nombre de disques de même diamètre, en acier mince, évidés et montés autour d'un diamètre commun qui est l'axe de rotation. Tandis que cette sorte de ventilateur projette vivement des morceaux de papier et autres corps légers, un ballon gonflé de gaz de l'éclairage, abandonné à proximité de la sphère, est vivement attiré et se met à tourner autour d'elle à très petite distance comme un gros satellite, et se maintient dans la région équatoriale.

Un anneau découpé dans une feuille de papier et d'un diamètre intérieur un peu supérieur à celui de la sphère, approché de manière à être traversé par l'axe de rotation, vient se placer autour de la sphère, dans le plan équatorial, et s'y maintient, donnant ainsi une image de l'anneau de Saturne; si l'on cherche à l'écarter de sa position, il y revient vivement.

Au moyen de la sphère tournante, l'expérience de la trombe est répétée à l'air libre.

Enfin M. Weyher montre que la pression dans le voisinage de la sphère est inférieure à la pression atmosphérique et qu'elle devient brusquement plus grande dans le plan équatorial.

Après la séance, M. Weyher répète quelques expériences montrant l'affouillement hélicoïde produit sur un sol mouvant par une trombe aérienne; une autre d'où il résulte qu'un tambour tournant exerce sur un disque qui lui est parallèle une attraction qui paraît varier en raison inverse du carré de la distance, etc.

M. Weyher, en terminant, remercie M. Mascart, qui a bien voulu exposer ses expériences à la Société, ainsi que MM. Rau et Radiguet qui lui ont prêté leur concours, et M. Michaut qui l'a aidé dans toutes ses expériences.

M. le Président remercie à son tour M. Weyher des belles et intéressantes expériences qu'il a bien voulu mettre sous les yeux de la Société. On doit lui en être d'autant plus reconnaissant que ces expériences ont exigé le transport d'un matériel considérable, et des soins infinis pour en assurer la réussite d'une manière aussi brillante.

Expériences de M. Weyher sur les tourbillons, trombes, tempêtes et sphères tournantes; présentées par M. Mascart.

Une cuvette plate en tôle ayant $0^m,70$ de diamètre et $0^m,06$ de profondeur est placée au fond d'une sorte de caisse dont trois côtés verticaux sont formés par des toiles peintes en noir et dont le quatrième côté tourné vers les spectateurs est constitué par une glace sans tain permettant d'apercevoir sur toute sa hauteur l'intérieur de cette caisse (*fig.* 1). Celle-ci a 1^m de côté et $1^m,20$ de hauteur; elle est complètement ouverte en haut et porte une traverse supérieure au milieu de laquelle se trouve fixée une douille verticale laissant passer l'arbre d'un tourniquet horizontal de $0^m,20$ de diamètre.

Le tourniquet qui se trouve à $1^m,50$ de distance de la cuvette est un simple tambour en carton muni d'un fond et ouvert par le bas; il est armé de quelques palettes dirigées suivant des rayons et il reçoit au moyen d'une courroie un mouvement de rotation variant de 500 à 1500 tours par minute.

On commence par mettre, dans la cuvette du bas, de l'eau chaude émettant quelques vapeurs, et l'on met en rotation le tourniquet.

L'air pris au centre est refoulé à la circonférence et forme un tourbillon vertical qui se propage peu à peu jusqu'au bas. Au bout de quelques instants, on voit la surface de l'eau se rider en spirales centripètes aboutissant toutes à un petit mamelon ou une petite surélévation de l'eau qui se forme sur l'axe du tourbillon aérien.

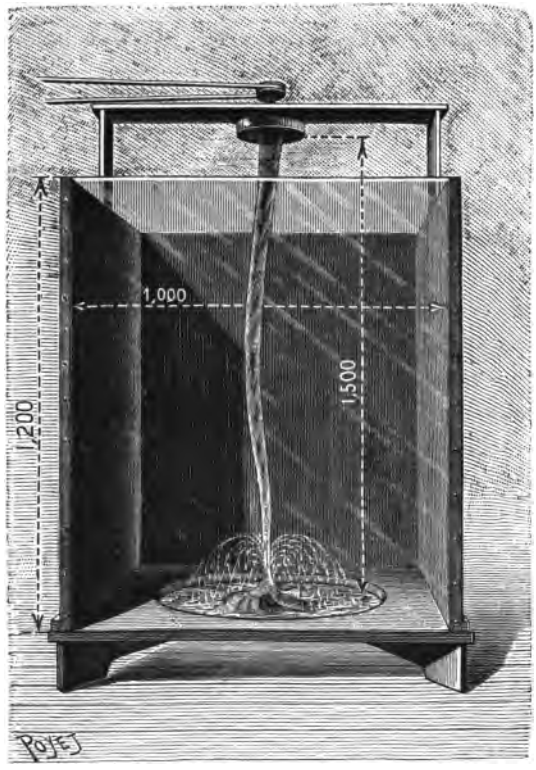
Les vapeurs émises à la surface de l'eau prennent elles-mêmes un mouvement centripète et se rassemblent autour de l'axe pour s'élever tout d'un coup en fuseau d'une netteté absolue et occupant toute la hauteur de l'appareil depuis la surface de l'eau jusqu'au tourniquet.

Ce fuseau blanc constitue un véritable tube dont l'intérieur laisse voir du haut en bas une espèce d'âme noirâtre qu'on aperçoit très bien à travers la vapeur; cette âme présente la forme d'un cône très allongé dont la pointe est en bas à la surface de l'eau. En réalité, la trombe ne reste pas immobile ni verticale;

elle s'infléchit plus ou moins en courbes gracieuses sous l'effet des remous anormaux.

Par moments et lorsque l'eau est un peu trop chaude, la vapeur se trouve en excès et encombre les spires aériennes ascendantes et descendantes : on voit alors des renflements se former sur la trombe et monter ou descendre le long du fuseau nébuleux.

Fig. 1.



Le tourniquet générateur est en somme un ventilateur ou une espèce de pompe centrifuge; il prend l'air à son centre et le rejette à sa circonférence; il est évident que, si l'on présente au centre de ce tourniquet un tube ouvert par le bout et communiquant avec un manomètre, celui-ci indiquera une certaine dépression.

Cette dépression existe au même degré dans toute la longueur du tube nébuleux. Il suffit, en effet, de descendre le tube sondeur au pied de la trombe, et, chaque fois qu'on réussit à le faire coïncider avec l'axe de celle-ci, on voit l'aiguille du manomètre indiquer le même déplacement qu'au sommet de cette trombe.

Nous jetons maintenant dans la cage carrée un petit ballon en caoutchouc gonflé d'air de $0^m,05$ à $0^m,06$ de diamètre; nous voyons ce ballon tomber à la surface de l'eau où il est pris par le tourbillon aérien et amené bien vite dans l'axe de la trombe; le fuseau de vapeur le saisit et semble s'y greffer en le faisant tourner sur lui-même, enfin la trombe enlève ce ballon comme au tirebouchon et le fait monter plus ou moins haut. Lorsque le ballon est bien rond et bien centré, il suit souvent la trombe jusqu'au tourniquet d'où il est rejeté à l'extérieur pour retomber au fond de la cage et recommencer un nouveau parcours.

La trombe est donc bien ascendante, ou du moins le mouvement ascendant est prépondérant, parce que les causes premières, dépression supérieure et mise en rotation, se trouvent en haut; mais une expérience suivante nous fera voir qu'elle est aussi en partie descendante.

Ce fait était d'ailleurs indiqué déjà par le renflement dont il était question tout à l'heure et qui tantôt monte et tantôt descend, suivant qu'il est formé par un excès de vapeur ascendante ou descendante. On peut remarquer, en effet, que très souvent le fuseau nébuleux est constitué par une double enveloppe de vapeur, par deux tubes concentriques, dont les particules tournent dans un même sens, mais avec circulation inverse dans le sens de la hauteur.

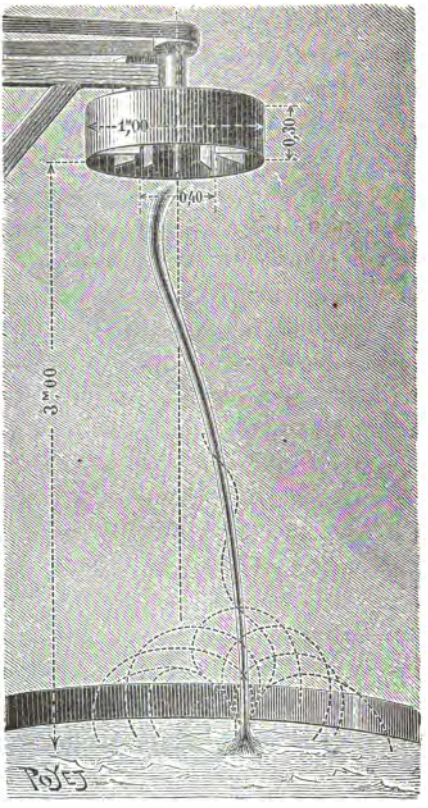
Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de remarquer que la caisse à glace sans tain n'est pour rien dans la production du phénomène. Cette caisse permet simplement d'éviter les courants d'air et d'obtenir la permanence de l'expérience. En effet, cette même expérience a été faite et réussie un grand nombre de fois en plein air tout à fait, et sur une échelle beaucoup plus grande. La hauteur était de 3^m et le bassin avait 5^m de diamètre (*fig.* 2).

Du reste, on obtiendrait aussi bien une trombe de 50^m de hauteur : ce n'est qu'une question d'argent et de local.

Enfin il ne sera pas inutile de dire que l'expérience réussit

aussi bien lorsque le tourniquet possède un mouvement de déplacement horizontal en même temps que celui de rotation ; la trombe suit alors le tourniquet et voyage à la surface de l'eau.

Fig. 9.



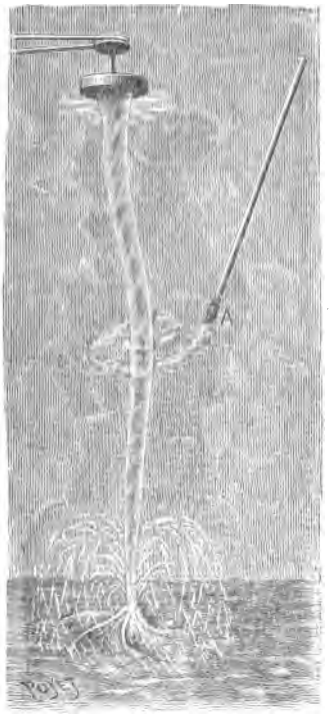
Nous ferons observer maintenant que nous formons la trombe avec la vapeur prise à la surface de l'eau, tandis que dans la nature le fuseau nébuleux procède du haut et descend des nuages et que, par suite, on pourrait objecter que notre expérience ne réalise pas du tout le phénomène tel qu'il se produit dans la nature.

Nous allons montrer que cette conclusion serait erronée et que, si nous prenons la vapeur en bas, ce n'est que parce que cela nous est plus commode.

En effet, faisons un peu refroidir l'eau de manière qu'elle n'émette plus que très peu de vapeurs ; le fuseau nébuleux est encore visible et son pied se dessine encore à la surface de l'eau par une petite surélévation centrale.

Si, entre le tourniquet et la cuvette, nous créons un nuage artificiel, soit en faisant arriver de la vapeur au moyen d'un tube relié à une chaudière extérieure, soit tout simplement en présentant sur le parcours de la trombe un fumeron fixé au bout d'une canne et donnant des fumées abondantes (*fig.* 3), nous allons voir cette

Fig. 3.



vapeur ou cette fumée s'emmancher dans la trombe ; une partie va monter, mais une autre partie va descendre en sens contraire et à l'intérieur du fuseau de vapeur ; elle formera un cône pointu qui ira souvent toucher la surface de l'eau.

La chose peut s'expliquer aisément si l'on se rappelle que le

tourniquet est une pompe centrifuge dont le fuseau de vapeur serait le tuyau d'aspiration, lequel est d'ailleurs fermé à sa partie inférieure par l'eau de la cuvette. L'intérieur de ce tuyau dessiné par l'âme noirâtre centrale se trouve à une pression inférieure à celle de l'air extérieur ambiant; si donc nous faisons arriver de la fumée sur l'axe de la trombe, cette fumée tend à remplir ce vide intérieur et descendra pour le combler jusqu'à la surface de l'eau.

Dans cette expérience, nous avons conservé de l'eau un peu chaude afin de bien faire voir que la fumée descend en sens contraire du mouvement de la vapeur formant le tube nébuleux encore légèrement visible. Si l'on refroidit l'eau tout à fait, ou si on l'enlève complètement en laissant la cuvette à sec, le tourbillon aérien est alors invisible; néanmoins, si l'on présente le fumeron sur le parcours de ce tourbillon, on voit également une partie de la fumée monter vers le tourniquet et une autre partie plonger vers le bas en cône aigu, allant quelquefois toucher par sa pointe le fond de la cuvette. D'autres fois, cette pointe oscille verticalement, se rapprochant ou s'éloignant de terre exactement comme dans une trombe naturelle.

Il faut remarquer enfin que la fumée, s'enroulant autour de la trombe à partir de l'extrémité de la canne, prend une vitesse angulaire de plus en plus accélérée depuis son origine A jusqu'à la pointe où cette vitesse est maxima.

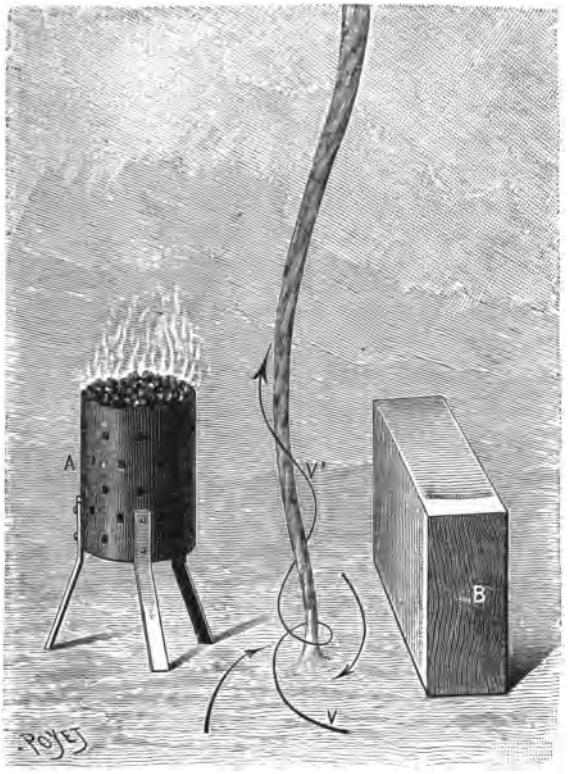
On peut conclure de ces expériences qu'une trombe a la propriété de faire monter les matières qui seraient en bas et de faire descendre les matières qui seraient en haut.

Afin de mettre ce fait en lumière d'une façon plus évidente encore, nous enlevons complètement l'eau de la cuvette et nous plaçons à son centre une petite éponge imbibée d'ammoniaque. Nous mettons en rotation le tourniquet, et nous présentons vers son centre, en haut, une autre éponge imbibée d'acide chlorhydrique. Aussitôt nous voyons les vapeurs des deux corps se rencontrer et dessiner le fuseau de la trombe par leur combinaison de chlorhydrate d'ammoniaque.

La *fig.* 4 indique une autre manière de produire un fuseau de vapeur tordu en trombe et animé d'un rapide mouvement de rotation autour de son axe. Cette expérience réussit souvent dans un atelier chauffé par des réchauds assez élevés sur leurs pieds et

quand l'air est bien tranquille. Le sol, formé par de la terre humide, s'échauffe assez par rayonnement pour émettre quelques vapeurs; d'un autre côté, les produits de la combustion, s'élevant verticalement au-dessus du réchaud, donnent lieu au sein de l'air ambiant, et en raison de leur moindre densité, à une *région supé-*

Fig. 4.



rieure dans laquelle la *pression* est *moindre* que *celle* de cet air ambiant. On voit alors, très souvent, les vapeurs courir horizontalement sur le sol pour gagner toutes un même centre, d'où elles s'élèvent verticalement en tournant rapidement sur un diamètre de $0^m,03$ à $0^m,04$ et sur une hauteur qui peut atteindre 2^m à 3^m. L'expérience réussit plus facilement encore en plaçant dans le voisinage du réchaud un obstacle quelconque B.

Dans la cuvette séchée, nous plaçons 50 à 60 petits ballons gonflés comme ceux qui ont servi dans une expérience précédente. Le tourniquet étant mis en rotation, nous voyons tous les ballons chercher à gagner le centre en s'entrechoquant. Tous ceux qui ont réussi à gagner l'axe du tourbillon y sont soulevés sur des spires ascendantes pour retomber à la circonférence et recommencer le même parcours. Les chemins parcourus par chaque ballon sont toujours des spires centripètes en bas, puis des spires centrifuges en haut, aussitôt que le ballon a passé au centre ou au foyer du tourbillon.

Nous mettons dans la cuvette de l'eau de savon, afin de faire voir la formation du buisson; celui-ci s'obtient directement avec l'eau en opérant à une plus grande échelle. Ainsi, dans l'expérience faite en plein air, ce buisson atteignait des proportions importantes : un panache de gouttes d'eau s'élevait au centre de la trombe; la plupart de ces gouttes retombaient tout autour, mais d'autres suivaient des spires aériennes ascendantes et montaient jusqu'au tourniquet.

Pour rendre cet effet visible dans l'expérience en petit, on insuffle de l'air dans l'eau de savon au moyen d'un tube perforé d'un grand nombre de petits trous. On voit alors le tourbillon aérien amener toutes ces bulles au centre, les y soulever et beaucoup montent jusqu'au haut pour retomber au large. C'est ainsi qu'une trombe naturelle peut élever jusqu'aux nues de grandes quantités d'eau (et même des poissons), et cette eau retombe alors en pluie à des distances plus ou moins grandes.

Le double mouvement centripète et centrifuge est rendu sensible encore par l'expérience du gruau placé dans un cylindre vertical en verre dont le couvercle supérieur est traversé par l'axe d'un petit tourniquet fonctionnant à l'intérieur de ce cylindre.

On a commencé par donner au gruau la forme d'un cône ou mamelon dont la pointe est tournée vers le haut. Aussitôt qu'on met en marche le tourniquet, on aperçoit au sommet du gruau un petit tortillon formé de parcelles qui se concentrent pour prendre ensuite le mouvement centrifuge. Peu à peu le gruau se creuse, et l'on voit alors des spirales centripètes courir à sa surface; la matière gagne constamment le centre, s'y élève, puis est rejetée vers les circonférences pour revenir au centre et ainsi de suite.

Si l'on regarde en projection verticale la figure que dessine l'ensemble des poussières de gruau mises ainsi en mouvement, on reconnaît aussitôt l'image de la nébuleuse *Haltère* du Renard, *Dumb-Bell* des anglais.

Une expérience qui n'a pas été faite en séance parce qu'elle prend un certain temps consiste à placer au foyer du tourbillon la boule d'un thermomètre. On constate alors une élévation de température de plusieurs degrés. Les parcelles de matière qui se rendent au foyer viennent toutes s'y entrechoquer, et c'est sans doute à ces chocs répétés qu'est due l'élévation de température.

Si, pour la vitesse réduite de notre tourbillon aérien, nous obtenons un réchauffement de quelques degrés, on peut concevoir qu'il suffirait que cette vitesse atteignît une certaine grandeur pour que les matières, venant se buter au foyer, devinssent agglomérantes par fusion avec une grande élévation de température.

Des considérations trop longues à développer ici amènent à voir aussi que le corps qui prendrait ainsi naissance au foyer d'un tourbillon serait une sphère.

C'est pour faire apercevoir ce résultat que nous avons mis en marche, depuis quelques moments, l'appareil placé dans un coin de la salle et très analogue au précédent (*fig.* 5).

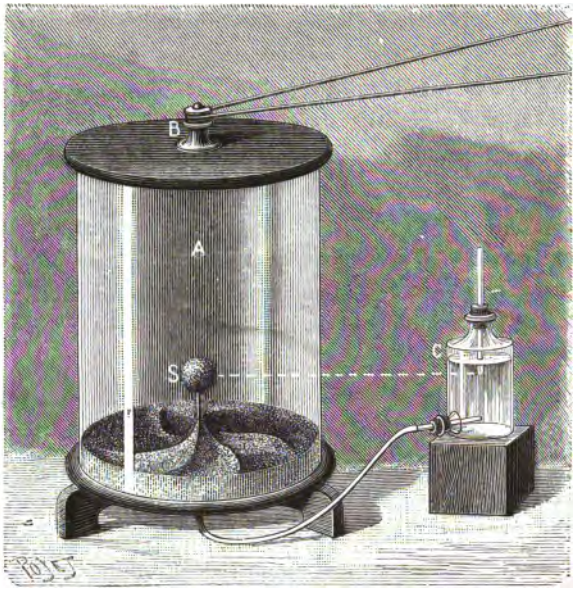
Le cylindre en verre contient un mélange de sable, plâtre impalpable et sciure de bois. Le fond inférieur est traversé par un petit tube de verre muni d'une mèche en papier buvard; ce tube est relié à une bouteille à niveau constant et contenant de l'eau gommée.

Le tourniquet fonctionnant depuis une demi-heure, les matières impalpables sont venues passer au foyer occupé par la mèche humide et s'y sont agglomérées en formant une sphère de forme aussi satisfaisante que l'ont permis la grossièreté des matériaux employés et l'imperfection de l'appareil.

Voici maintenant un tourniquet au-dessous duquel nous plaçons une planche horizontale ou un disque de verre. Sur ce disque et sur champ, nous posons une pièce de monnaie à laquelle nous imprimons avec les doigts un premier mouvement de rotation autour d'un de ses diamètres. Le tourbillon aérien continue ce mouvement, en l'accélérant beaucoup, et la pièce reste absolument

captive dans le tourbillon en laissant apercevoir la sphère qu'elle engendre. On peut remarquer que, si la pièce était enduite d'une matière collante et si l'air du tourbillon charriait des poussières, celles-ci viendraient y adhérer et augmenteraient de plus en plus les dimensions de la sphère.

Fig. 5.



Ces diverses expériences permettent de donner une explication de la formation de la grêle que nous signalons seulement, et sur laquelle les personnes que la question pourrait intéresser trouveront quelques détails dans la brochure *Sur les tourbillons, trombes, tempêtes,* etc., publiée par la maison Gauthier-Villars.

Nous avons retiré le gruau de l'appareil et, après avoir mis en marche à grande vitesse un tourniquet formé simplement de deux petits carrés de fer-blanc emmanchés sur l'axe, nous jetons dans le cylindre un petit fragment de fumeron.

Aussitôt la fumée se concentre en trombe et, comme cette fumée est en excès, on voit des renflements, comme des boules, monter et descendre le long du fuseau. Bientôt, et en raison de

l'excès considérable de matière, tout l'appareil se remplit de fumée, mais on aperçoit toujours l'axe se dessiner en noir dans le milieu laiteux.

Enfin une expérience dont il a été dit quelques mots seulement, parce qu'elle n'est visible que de près, consiste à introduire dans le cylindre de verre une calotte hémisphérique dans laquelle on place quelques grains de gruau contenant encore des traces de farine. Le tourniquet mis en marche, on voit les gros grains tourner sur des circonférences extérieures, mais la farine se rend au centre sur des spirales centripètes très visibles, aboutissant toutes à un petit noyau central et donnant par leur ensemble l'image exacte de la nébuleuse de la constellation des Chiens de chasse.

Expérience du cyclone. — Nous remarquerons d'abord qu'un cyclone ne diffère d'une trombe que par le rapport du diamètre à la hauteur; dans une trombe, le diamètre est très petit par rapport à la hauteur, tandis que dans le cyclone le diamètre est très grand par rapport à la hauteur. Mais le mouvement de l'air est toujours le même; cet air descend à l'extérieur pour remonter à l'intérieur; seulement, dans le cyclone, en raison même du très grand diamètre par rapport à la hauteur, l'air commence à remonter bien ayant d'avoir atteint le centre, en sorte qu'il reste au milieu un cercle d'une assez grande étendue et dans lequel on observe nettement le calme central si remarquable.

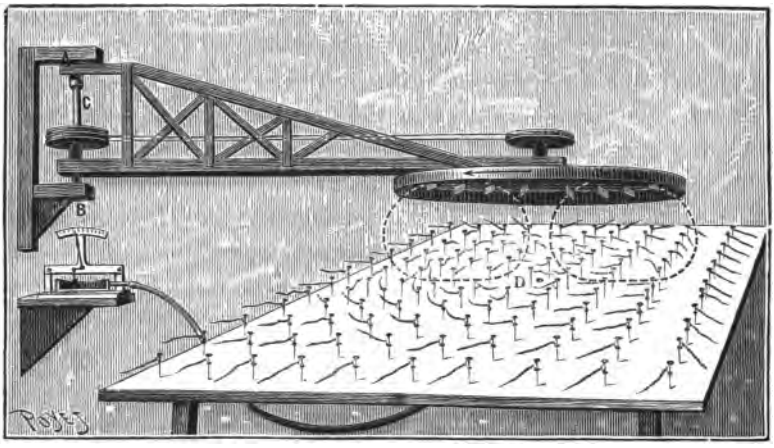
Disons aussi que le brouillard qui descend sur la mer de tous côtés laisse, comme dans la trombe, un noyau central libre de vapeur, de telle sorte qu'au moment même où le temps est noir et que la tempête règne tout autour, le milieu est clair et calme, et le soleil peut briller et éclairer ce calme central. C'est l'œil de la tempête.

Nous pouvons ajouter encore que, puisque le noyau intérieur est libre de vapeur, le degré hygrométrique y est moindre que tout autour. C'est encore là un fait bien constaté dans les cyclones naturels.

Voici l'expérience : dans une table de 2^m de longueur sur 1^m de largeur (*fig.* 6), sont fichées 200 épingles munies de bouts de laine rouge attachés à de petites charnières très mobiles. Ces laines

représentent autant de pavillons de navires qui flotteraient sur la mer. La table est percée à son centre d'un trou communiquant avec un manomètre. Ce serait un des navires muni de son instrument d'observation. Au-dessus de la table, à $0^m,25$ ou $0^m,30$, se trouve un grand tourniquet plat de $0^m,80$ de diamètre, muni de palettes suivant des rayons allant jusqu'au centre. Ce tourniquet est lui-même monté sur une potence de $1^m,50$ de rayon et cette potence permet de faire passer horizontalement au-dessus de la table la tempête circulaire engendrée par la rotation de l'appareil qu'on met en mouvement au moyen de courroies disposées pour cela.

Fig. 6.



On place d'abord le tourniquet au-dessus d'une partie quelconque de la table et on le met en rotation. Aussitôt on voit les pavillons rouges indiquer la direction du vent en chaque point. Les rangées intérieures dessinent des circonférences avec direction légèrement centripète. Les rangées extérieures au cyclone prennent une direction franchement centrifuge. Quant aux brins de laine situés immédiatement au centre, on les voit couchés inertes sur la table; ils montrent nettement le calme central.

Si l'on fait maintenant voyager lentement le cyclone au-dessus de la table en faisant tourner la potence autour de son axe vertical, le cyclone commence à faire sentir son action au-dessus du trou percé dans la table et qui communique avec le manomètre.

Celui-ci indique une baisse atmosphérique qui s'accentue de plus en plus jusqu'à un maximum qui a lieu lorsque le centre du tourniquet est arrivé jusqu'au-dessus du trou. Puis, à mesure que l'on pousse la potence du côté opposé, la pression remonte jusqu'à reprendre sa valeur initiale.

On observe en même temps qu'autour du calme central le pavillon de droite se tient, par exemple, du nord au sud, tandis que celui de gauche occupe la direction sud-nord; à l'instant même où un pavillon passe du calme à la tempête, on constate la brusque saute de vent qui a lieu au sortir de ce calme, et ce pavillon, qui l'instant d'avant indiquait le nord, se retourne vivement vers le sud.

Pour rendre visible à distance le calme central, on place sur la table un disque de carton un peu plus grand que le tourniquet et portant 25 à 30 bouts de bougies allumées.

On amène le tourniquet au-dessus de ce disque de façon que la bougie centrale se trouve au-dessous du centre du tourniquet et l'on met celui-ci en rotation. On voit alors la tempête souffler et éteindre toutes les bougies, excepté celle du milieu qui continue à brûler tranquillement.

Sphères tournantes. — L'examen attentif des simples tourbillons conduit fatalement à retrouver ceux-ci autour d'une sphère tournant sur son axe polaire.

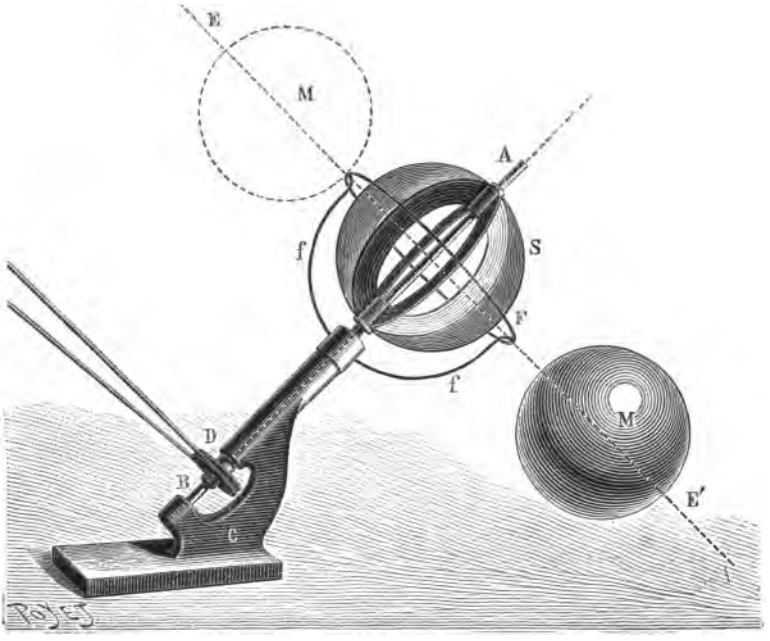
La sphère présentée est formée par des palettes placées suivant des méridiens (*fig.* 7); c'est un ventilateur prenant l'air dans les deux régions polaires et l'expulsant par la circonférence équatoriale. Des morceaux de papier qu'on laisse s'échapper des doigts dans cette région équatoriale sont rejetés au loin; mais, si l'on présente au souffle équatorial des ballons de dimensions et de densité appropriées, non seulement ces ballons ne sont pas rejetés, mais ils sont, au contraire, vivement attirés par la sphère tournante et décrivent autour d'elle des orbites dans le plan de l'équateur, quelle que soit la direction de celui-ci par rapport à l'horizon.

Le mouvement communiqué à l'air par la sphère tournante se propage assez loin dans la salle et les ballons qui peuvent traîner à terre se mettent eux-mêmes en mouvement et tournent autour d'un centre; chaque corps placé dans l'espace influencé par la

sphère tournante se rattache à celle-ci par un tourbillon, et il est possible de rendre la chose visible par l'expérience suivante (*fig.* 8).

On place à terre la cuvette plate contenant de l'eau chaude et l'on voit alors les vapeurs se concentrer en une trombe identique à celle de la première expérience; cette trombe, partant de la cuvette, aboutit à l'équateur de la sphère; un petit ballon assez

Fig. 7.



léger, placé à la surface de l'eau, serait enlevé par cette trombe et amené sur la sphère.

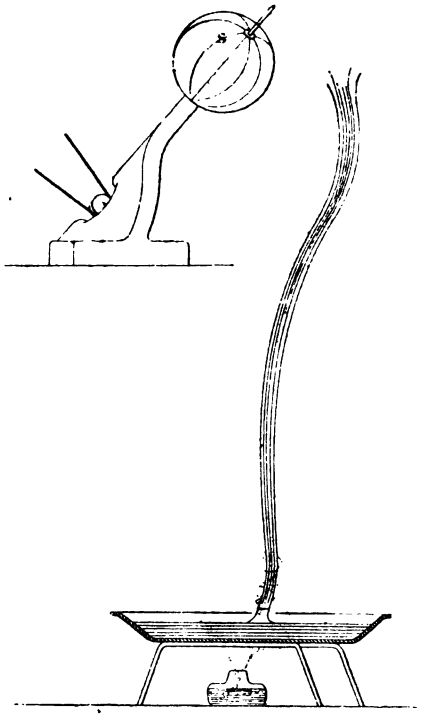
Le fuseau nébuleux aboutit à l'équateur et non au pôle, comme il semblerait naturel de le penser au premier abord.

L'expérience suivante fait voir, en effet, que c'est dans la région équatoriale que le vide tourbillonnaire est maximum, et quelques minutes de réflexion conduisent d'ailleurs à cette conclusion. Quoi qu'il en soit, nous prenons le manomètre qui a déjà servi aux expériences précédentes et, au bout du tube en caoutchouc qui s'y rattache, nous mettons un tube en cuivre dont

l'extrémité, qui va servir de sonde, est aplatie en sifflet de manière à ne plus présenter qu'une fente étroite (*fig.* 9).

En mettant cette fente près de l'un des pôles, on voit le manomètre indiquer une certaine dépression.

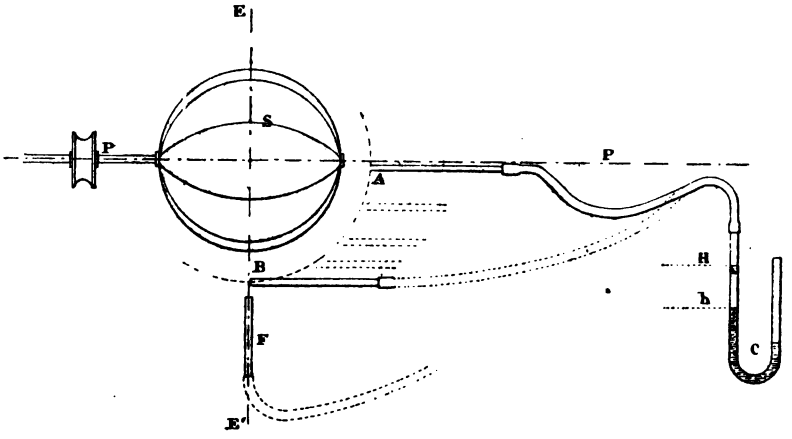
Fig. 8.



Si maintenant on porte lentement l'extrémité du tube vers l'équateur, on constate que la dépression augmente beaucoup jusqu'à un maximum qui se trouve sur l'équateur même; dans cette épreuve, la fente du tube sondeur est placée perpendiculairement au plan de l'équateur; si nous tournons à présent le tube de façon à placer la fente dans le plan même de l'équateur, l'aiguille du manomètre se meut aussitôt en sens inverse et indique une suppression, car maintenant c'est le souffle équatorial qui donne directement et tout seul dans le tube sondeur; les tourbillons qui existent sur les flancs de ce souffle équatorial ne peuvent plus

exercer d'influence, parce qu'ils échappent à droite et à gauche aux lèvres du tube sondeur.

Fig. 9.



Cette expérience permet de saisir pourquoi des ballons de dimensions appropriées sont attirés bien plus à l'équateur que partout ailleurs et pourquoi le fuseau de vapeur aboutissait, lui aussi, à l'équateur, au lieu de se diriger vers le pôle le plus rapproché de terre, comme on serait tenté de le penser au premier abord.

SÉANCE DU 1er MARS 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MALLARD.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. D'IVRY (Baron L.), à Paris.

JOYEUX (EUGÈNE), à Chaville (Seine-et-Oise).

JOUKOVSKI (NICOLAS), Professeur de Mécanique à l'Université et à la haute École technique de Moscou (Russie).

OUMOFF (NICOLAS), Professeur de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

PRÉOBRAJENSKI (PIERRE), Secrétaire de la Section de Physique à la Société Impériale des amis des Sciences naturelles de Moscou (Russie).

SCHILLER (NICOLAS), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

M. le Président annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Moitessier*, Professeur à la Faculté de Médecine de Montpellier.

Après la lecture du procès-verbal, M. le Secrétaire général communique une lettre de M. *Weyher*, contenant les rectifications suivantes :

Page 39, ligne 4 en remontant, il est question d'une mer *moutonneuse*. On pourrait penser, d'après cela, que, pour que le buisson se produise, il faut une mer agitée, tandis qu'au contraire le phénomène naturel a surtout lieu par temps absolument calme.

Avant-dernière ligne, il est dit que l'eau du bassin se met à tourner dans le sens du cyclone.

Cet effet n'a lieu dans une certaine mesure que parce que l'expérience est faite avec un bassin circulaire et sur de l'eau stagnante mais, pour la production de la trombe et surtout pour celle du buisson, il vaudrait mieux que l'eau ne tournât pas. Si, en effet, son mouvement de rotation s'accentuait par trop, le buisson ne pourrait plus se produire, car l'effet de la force centrifuge deviendrait alors prépondérant.

Page 40, ligne 17. Les ballons sont simplement remplis d'air; il est vrai que deux ou trois étaient gonflés au gaz, mais ce n'était que dans le but de faire voir qu'en faisant flotter dans l'air de semblables corps, ayant une densité à peu près égale à celle de l'air, ces corps étaient attirés de très loin vers la sphère tournante.

Ligne 28. La pression ne devient pas brusquement plus grande dans le plan de l'équateur; c'est au contraire la dépression qui augmente *progressivement* du pôle à l'équateur, où elle est maxima.

M. le Secrétaire général donne lecture d'une Note de MM. Ch. Fiévez et Ed. van Aubel : *Sur l'intensité lumineuse des bandes d'absorption des liquides colorés.*

Les spectres d'absorption des liquides colorés servent, en analyse qualitative, au même but que les raies spectrales d'émission. Le nombre, la position relative, la largeur et l'intensité des bandes d'absorption varient essentiellement avec la nature des dissolutions. Ces bandes s'élargissent de plus en plus, à mesure que l'épaisseur de la couche traversée par la lumière augmente; leur position nous indique quels sont les rayons pour lesquels l'absorption est la plus forte.

On trouve, en général, peu de renseignements, dans les ouvrages sur l'analyse spectrale, relativement aux conditions expérimentales les plus favorables à la recherche des bandes d'absorption. La plupart des auteurs conseillent l'emploi d'une source lumineuse intense (1), et ne parlent pas de l'influence du pouvoir dispersif du spectroscope.

Nous avons donc pensé qu'il serait intéressant de faire quelques expériences dans cette voie.

Les recherches que nous avons entreprises dans ce but ont porté sur les bandes spectrales de nombreux liquides colorés, dans divers états de

(1) *Voir* notamment : Kayser, *Lehrbuch der Spektralanalyse*, p. 123; 1883.

concentration : les solutions de bleus et de violets d'aniline, de fuchsine, d'érythrosine, de permanganate de potassium, d'alun de chrome, de sulfocyanure de cobalt, de chlorure de didyme, etc.

Les résultats ayant été concordants pour ces divers corps, nous indiquerons seulement, *in extenso*, les expériences avec les solutions de fuchsine et de chlorure de didyme. Ces dernières solutions sont particulièrement remarquables par la netteté de leurs bandes d'absorption.

Les dissolutions de fuchsine étaient à $\frac{1}{10000}$, $\frac{1}{100000}$, $\frac{1}{1000000}$; celles de didyme à $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{300}$, $\frac{1}{1000}$. Elles étaient examinées dans des tubes de verre de 20^{cm} et 40^{cm} de longueur, identiques à ceux qui sont employés en saccharimétrie, et dans des flacons plats à faces parallèles distantes de 1^{cm} environ.

La lampe Carcel, la lumière diffuse et le soleil ont été successivement utilisés comme source lumineuse.

Un collimateur, muni d'une fente à ouverture variable, envoyait, à travers les dissolutions, des rayons lumineux parallèles, provenant des différentes sources. L'intensité des rayons pouvait être facilement réglée par l'ouverture plus ou moins grande de la fente du collimateur, la fente du spectroscope demeurant invariable.

On ne peut évidemment chercher à augmenter l'intensité lumineuse en ouvrant davantage la fente du spectroscope, car on modifie ainsi entièrement les conditions expérimentales.

On sait, en effet, qu'une fente large fait disparaître des raies et des bandes obscures, qui sont très nettes avec une fente plus étroite.

Le pouvoir dispersif du spectroscope a varié dans les limites comprises entre la dispersion d'un prisme de 35° et celle de huit prismes de 60°.

Toutes les autres conditions expérimentales restant constantes, on observe que *l'intensité d'une bande d'absorption diminue :*

1° *Avec l'épaisseur et la dilution de la couche absorbante.*

Ainsi une bande invisible sous une certaine épaisseur, ou avec une certaine dilution, devient apparente sous une épaisseur ou une dilution plus grande.

Ce résultat, presque évident, était connu dès les premiers travaux sur l'analyse spectrale par absorption. On connaît d'ailleurs le spectromètre Yvon, dans lequel on peut varier à volonté et mesurer l'épaisseur de la couche absorbante.

2° *A mesure que l'intensité lumineuse des rayons incidents augmente.*

Une bande invisible, sous une certaine intensité lumineuse, apparaît sous une intensité moindre.

M. A. Witz fait remarquer aussi, à la page 346 de son remarquable *Cours de manipulations de Physique,* que l'intensité de la source lumineuse « modifie la largeur et même les nombres des bandes » d'absorption.

3° *A mesure que la dispersion augmente.*

Une bande invisible, sous une certaine dispersion, se manifeste sous une dispersion moindre.

Notre travail était entièrement terminé, lorsque nous avons reçu la nouvelle édition (1889) de l'ouvrage du professeur H.-W. Vogel, sur l'analyse spectrale pratique. Ce physicien est arrivé à une conclusion analogue à la nôtre, en étudiant le spectre d'absorption du rouge de naphtaline (1).

Nous pouvons donc formuler la conclusion suivante, qui trouve une application immédiate :

Chaque fois que l'on ne pourra augmenter suffisamment la concentration ou l'épaisseur de la couche absorbante, il faudra réduire l'intensité lumineuse et le pouvoir dispersif, pour découvrir les bandes caractéristiques du corps absorbant.

Ainsi, une solution au $\frac{1}{1000}$ de chlorure de didyme, examinée sous une épaisseur de 40^{cm} à la lumière solaire et avec une dispersion de deux prismes, ne donnera aucune trace de bandes d'absorption; tandis que la même solution examinée sous la même épaisseur, mais à la lumière diffuse et avec une dispersion d'un prisme de 35°, laissera apercevoir deux bandes bien caractérisées.

M. Piltschikoff, après avoir rappelé la relation qui lie la distance focale d'une lentille à son indice de réfraction, expose une méthode simple et rapide pour la détermination des indices des liquides avec une très grande précision.

Le réfractomètre qu'il présente à la Société se compose d'un collimateur, d'une lentille creuse et d'une lunette à tirage.

La fente du collimateur ordinaire est remplacée avantageusement par trois fentes parallèles ou par deux fentes rectangulaires dessinant une petite croix.

La lentille est formée par une lame à faces parallèles et un ménisque rodé sur les bords et s'appliquant très exactement sur la lame par pression. Ces deux pièces sont en flint; on enferme entre elles quelques gouttes du liquide à examiner.

Soient n l'indice de ce dernier, n' celui du flint, R_1 et R_2 les rayons de courbure du ménisque et F la distance focale de la lentille remplie de liquide ; on a pour les rayons centraux

$$n = 1 + \frac{R_2 - R_1}{R_2}(n' - 1)\frac{R_1}{F}.$$

Mais la méthode comporte l'emploi de rayons marginaux tombant sur

(1) H.-W. Vogel, *Praktische Spectralanalyse*, t. I, p. 62, § 40; 1889.

la lentille à travers deux petits trous percés à égale distance du centre d'un petit écran appliqué sur la face plane de la lentille. La relation devient pour ces rayons marginaux

$$n = P + \frac{Q}{F},$$

P et Q étant deux constantes que l'on détermine au moyen du réfractomètre lui-même, en introduisant successivement dans la lentille deux liquides d'indices connus.

La distance focale F est déterminée avec précision au moyen du vernier au $\frac{1}{20}$ que porte le tirage de la lunette.

D'ailleurs l'erreur ε que comporte la mesure de n peut s'exprimer par $\frac{\alpha}{D}, \frac{Q}{F}$, si l'on désigne par D la distance des deux trous de l'écran et α le plus petit élargissement de l'image de la fente que l'œil puisse distinguer. On peut donc rendre cette erreur ε aussi petite que l'on veut en donnant à F une valeur suffisamment grande.

Pour $F = 20^{cm}$, la méthode donne les indices à $\frac{1}{10000}$ près.

Pour un ménisque en flint avec $R_1 = 34^{cm},2$, $R_2 = 104^{cm},3$, le foyer de la lentille remplie de sulfure de carbone serait à 1^m; il serait rejeté à la distance de la Lune si l'on remplaçait ce liquide par de l'eau.

L'appareil de M. Piltschikoff se prête très bien à l'étude de la variation des indices de liquides avec la température. A cet effet, la lentille est introduite dans une cuve à doubles parois remplie d'huile que l'on chauffe au moyen d'un thermosiphon.

En terminant sa Communication, M. Piltschikoff projette sur le tableau les images que chacun pourra observer, après la séance, dans le réfractomètre. Puis il remercie M. Pellin, qui a bien voulu se charger de cette partie expérimentale ainsi que de la construction du réfractomètre.

M. Couette a soumis à de nouvelles vérifications expérimentales les équations posées par *Navier* pour représenter les mouvements des liquides en tenant compte de leur viscosité. Il a employé deux méthodes et opéré sur l'eau.

1° Ce liquide est compris entre deux cylindres concentriques : l'extérieur est animé d'un mouvement de rotation uniforme; l'intérieur est maintenu fixe par des poids avec lesquels on mesure le moment M du frottement du liquide sur ce cylindre. Dimensions de l'appareil :

Rayon du cylindre extérieur.....	$14^{cm},6395$
Rayon du cylindre intérieur.....	14,3942
Hauteur du cylindre intérieur.....	7,905

Quand le nombre N de tours du cylindre extérieur est inférieur à 56 par minute, le rapport $\frac{M}{N}$ conserve une valeur constante, ce qui est conforme

à l'intégrale particulière la plus simple des équations de Navier. Entre 56 et 60 tours, ce rapport éprouve une augmentation extrêmement rapide, mais qui se ralentit ensuite. A partir de 127 tours jusqu'à 150, limite des expériences, $\frac{M}{N}$ est approximativement une fonction linéaire de N.

2° L'eau coule dans des tubes de verre dont le diamètre est compris entre $0^{cm},1$ et 1^{cm}. On élimine l'action des extrémités par un procédé analogue à celui de Wertheim pour les tuyaux sonores. Soient q le débit, i la perte de charge par unité de longueur. Tant que le débit reste inférieur à une certaine limite q_1, proportionnelle au rayon du tube, l'écoulement suit les lois de Poiseuille; q variant de q_1 à une certaine limite q_2, le rapport $\frac{i}{q}$ éprouve un accroissement rapide; au-dessus de q_2, le rapport $\frac{i}{q}$ devient approximativement une fonction linéaire de q.

L'observation de la veine qui jaillit dans l'air d'un tube horizontal éclaire encore ces résultats. Quand le débit est inférieur à q_1, la veine est lisse et tranquille; quand il est supérieur à q_2, elle est encore tranquille, mais ridée; quand il est compris entre q_1 et q_2, la veine éprouve des changements brusques d'aspect et d'amplitude, qui se succèdent rapidement à des intervalles de temps peu réguliers; tantôt elle est lisse et allongée, tantôt ridée et raccourcie.

Cette expérience est répétée très nettement sous les yeux de la Société avec une veine de mercure, dont l'image très agrandie est projetée sur un écran.

Conclusions. — Le mouvement des liquides présente deux régimes différents. Le premier, qui se réalise seul dans les mouvements les plus lents, est représenté, *exactement et non approximativement*, par les intégrales particulières les plus simples des équations de Navier. Le second, réalisé dans les mouvements plus rapides, n'est pas conforme à ces intégrales. Quand les vitesses restent comprises entre certaines limites, les deux régimes sont possibles et se produisent alternativement.

Réfractomètre à lentille pour liquides;

par M. N. Piltschikoff.

La détermination des indices de réfraction, outre l'intérêt qu'elle présente au point de vue scientifique, peut recevoir une application très utile à l'analyse technique dans tous les cas où l'on détermine la richesse d'une dissolution ou la constitution d'un mélange des liquides par le *procédé aréométrique*. L'indice

de réfraction d'une dissolution est lié, en effet, à la quantité des corps dissous par la même équation que sa densité (avec paramètres différents, bien entendu). D'ailleurs la méthode réfractométrique est indépendante de la capillarité et n'exige que très peu de liquide. Il y a enfin des cas (par exemple dans l'examen des falsifications des huiles) où les densités des corps mélangés sont presque identiques, tandis que les indices sont assez différents. L'emploi du réfractomètre est alors très avantageux.

La seule cause qui empêche cette méthode de se répandre dans les laboratoires techniques est la complication des réfractomètres fondés sur l'emploi de goniomètres d'un réglage long et pénible et le prix élevé des appareils. Je suis parvenu à combiner un appareil très simple dont l'emploi est tout aussi facile et aussi rapide que celui des aréomètres et qui n'exige *qu'une goutte* du liquide à étudier.

Ce nouveau réfractomètre est fondé sur la relation qui existe entre l'indice de réfraction d'une lentille de courbures données et sa distance focale. Il se compose de trois parties : un objet lumineux, une lentille creuse remplie de liquide et un écran sur lequel la lentille projette l'image réelle de l'objet lumineux.

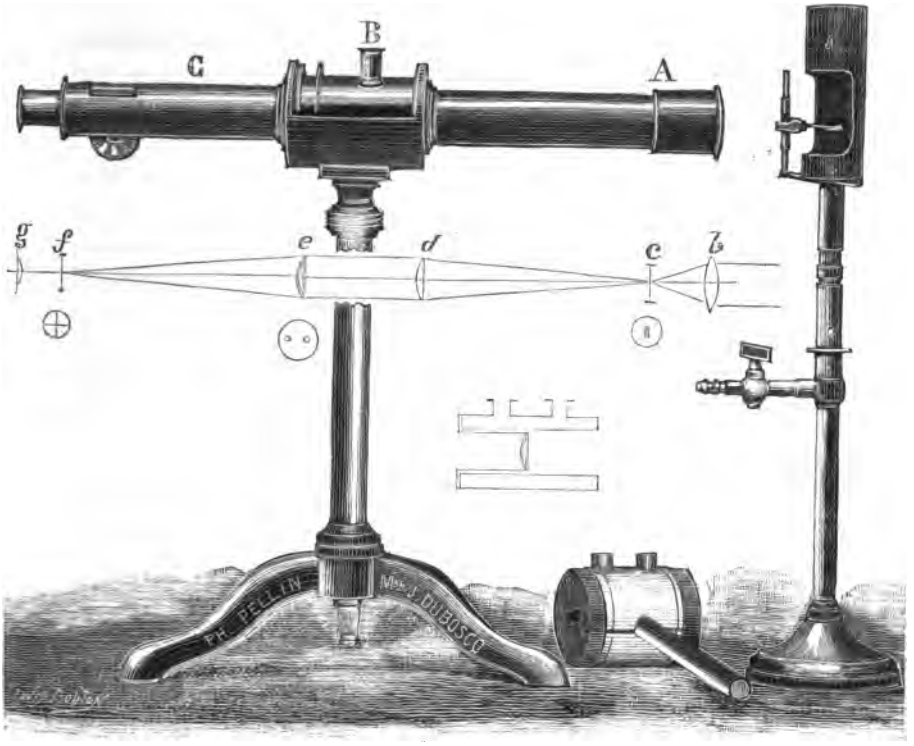
Pour l'objet lumineux, je prends quelques fentes dans un écran *c* (*fig.* 1) qui constitue, avec une lentille *d*, le collimateur A. L'écran *c* est bien éclairé au moyen d'une lampe monochromatique *a* dont les rayons sont concentrés sur cet écran par une lentille *b*.

Pour la lentille creuse, je prends un ménisque en crown de courbure convenable. Dans ce ménisque on fait tomber une ou deux gouttes de liquide, on le couvre avec une glace plane à faces parallèles, puis avec un petit écran ayant deux trous circulaires ; enfin on porte la lentille dans un manchon B qui constitue la partie centrale de l'appareil.

L'image des fentes *c* se forme dans le tube C. On agit sur la crémaillère pour amener l'écran *f* en verre dépoli dans le plan focal de la lentille *e* (on regarde cette image au travers d'une forte loupe *g*). On note le nombre que donne l'échelle tracée sur la partie supérieure du tube C. Avec ce nombre, on trouve immédiatement, dans une table, l'indice de réfraction du liquide qui remplit la lentille.

L'échelle est divisée en millimètres. Il est évident qu'elle peut être divisée de telle façon que les numéros expriment les indices cherchés.

Fig. 43.



Si l'on veut étudier l'influence de la température sur l'indice, on place la lentille dans un manchon spécial à double paroi rempli d'huile qu'on chauffe au moyen d'un bec de gaz ou d'une lampe ordinaire et qui permet d'atteindre facilement 150°. On élimine, par l'expérience comparative avec une lentille en crown, l'influence de la variation des dimensions de l'appareil et de l'indice du ménisque.

La théorie de l'appareil est assez simple. Il s'agit de trouver la relation qui relie les courbures de la lentille, son indice et sa distance focale.

Soient R_1 et R_2 les rayons de courbure du ménisque (R_1, R_2). Désignons par F_0 la distance focale du ménisque creux dont l'indice est n_0, par F_1, F_2 les distances focales de la lentille liquide (R_2, ∞) renfermée entre le ménisque et la glace plane pour deux liquides d'indices n_1 et n_2. Soient encore L_1 et L_2 les distances focales du ménisque rempli successivement de ces deux liquides : alors on a les formules connues

$$F_0 = \frac{1}{n_0 - 1} \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2},$$

$$F_1 = \frac{1}{n_1 - 1} R_2,$$

$$F_2 = \frac{1}{n_2 - 1} R_2,$$

$$L_1 = \frac{F_0 F_1}{F_0 + F_1},$$

$$L_2 = \frac{F_0 F_2}{F_0 + F_2},$$

ou

$$(1) \quad \begin{cases} L_1 = \dfrac{R_1 R_2}{(n_1 - 1) R_2 + (n_0 - 1)(R_1 - R_2)}, \\ L_2 = \dfrac{R_1 R_2}{(n_2 - 1) R_2 + (n_0 - 1)(R_1 - R_2)}; \end{cases}$$

d'où il est facile de déterminer R_1 et R_2 :

$$(2) \quad \begin{cases} R_1 = (n_2 - n_1) \dfrac{L_1 L_2}{L_1 - L_2}, \\ R_2 = (n_0 - 1)(n_2 - n_1) \dfrac{L_1 L_2}{(n_0 - n_1) L_1 - (n_0 - n_2) L_2}. \end{cases}$$

Au moyen de ces formules on trouve, avec une approximation suffisante, les courbures du ménisque correspondantes aux dimensions de l'appareil.

La sensibilité de la méthode dépend de la précision dans la mesure de la distance focale de la lentille. Après avoir essayé diverses dispositions courantes, je me suis arrêté à l'emploi des rayons marginaux.

Couvrons la lentille par un écran ayant deux trous circulaires aux extrémités, un diamètre horizontal.

Si l'objet lumineux est une fente verticale éclairée, nous verrons, en général, sur le verre dépoli f deux images de la fente, parce que chaque trou de l'écran e donne un faisceau indépendant. En déplaçant le verre f, nous trouverons une position pour laquelle ces deux images se superposent; elles sont alors dans le plan de concours des rayons marginaux choisis.

Au lieu de déterminer cette position du verre dépoli e, il est préférable de déterminer deux positions voisines par lesquelles les deux images se touchent.

On peut admettre avec une certaine approximation que la relation entre l'indice n_1 d'un liquide et le nombre correspondant F_1 de divisions de l'échelle du réfractomètre (moyenne arithmétique pour les deux positions susnommées du verre dépoli) peut être exprimée par la formule

$$n_1 = P + \frac{Q}{F_1}.$$

Pour un autre liquide, on aura

$$n_2 = P + \frac{Q}{F_2},$$

d'où l'on détermine les constantes de l'appareil

$$P = \frac{n_1 F_1 - n_2 F_2}{F_1 - F_2},$$

$$Q = \frac{(n_2 - n_1) F_1 F_2}{F_1 - F_2}.$$

Remarque I. — Pour avoir une plus grande précision, on peut prendre pour la relation entre n et F

$$n = P + \frac{Q}{F} + \frac{P}{F^2},$$

et déterminer P, Q et R au moyen de trois liquides, dont les indices sont connus d'avance.

Les constantes de l'appareil étant déterminées, on calculera une Table des valeurs correspondantes de n et de F.

Remarque II. — Comme on se sert des rayons marginaux, les formules (2) ne sont pas rigoureuses.

L_1 et L_2 qui correspondent en réalité aux n_1, n_2, k_1, k_2 sont un peu moindres que celles qui sont données par les équations (2); il est donc nécessaire d'augmenter le tirage de la lunette de 1^{cm} environ, de manière à pouvoir donner à L_2 la valeur de $L_2 - 1^{cm}$. Du reste, si l'on rencontre des cas où L_1 et L_2 devront avoir exactement les valeurs prescrites, on remplacera les formules (2) par les formules complètes.

SÉANCE DU 15 MARS 1889.

PRÉSIDENCE DE MM. MASCART ET MALLARD.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er mars est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Audibert, Professeur au Collège de Béziers.
Gall (Henry), Directeur de l'usine des produits chimiques à Villers, par Hermès (Oise).
Millard, Docteur en Médecine, à Paris.

M. Cornu offre à la Société, de la part de MM. Alfred, Édouard et Gustave Tresca, les Œuvres de leur père, Henri Tresca, qu'ils ont recueillies et mises en ordre.

Sur l'achromatisme des franges d'interférence, par M. Mascart. — Quand on examine au travers d'un prisme un phénomène d'interférence produit par la lumière blanche, la réfraction dans le prisme change d'une manière inégale la direction apparente des systèmes de franges qui correspondent aux différentes couleurs, en même temps que l'angle apparent de deux franges voisines. La superposition des systèmes se fait alors suivant une loi nouvelle et, pour une direction particulière, les franges de même ordre pour toutes les couleurs sont très sensiblement superposées : c'est ce que M. Cornu a appelé une frange *achromatique*.

Lorsque les conditions de l'expérience sont convenablement choisies, il se présente une autre circonstance remarquable : l'angle apparent des franges au voisinage de l'achromatisme est à peu près indépendant de la longueur d'onde, de sorte que les franges visibles y sont très nombreuses, et le phénomène devient comparable à celui qu'on observerait dans la lumière homogène.

En visant les anneaux colorés ordinaires par l'intermédiaire d'un prisme, Newton aperçut ainsi plus de quarante anneaux distincts. Dans l'appareil d'Herschel, les interférences sont dues à la réflexion de la lumière, dans une direction voisine de la réflexion totale, sur les deux faces d'une couche d'air comprise entre une surface plane et la face hypoténuse, également plane, d'un prisme isoscèle. Quand on observe cet appareil en visant à l'infini ou en examinant l'image produite au foyer principal d'une lentille, le champ est partagé en deux régions, l'une très éclairée qui correspond à la réflexion totale, l'autre plus pâle, la séparation étant formée par une zone irisée qui rappelle l'arc-en-ciel. A quelque distance de cette limite se trouve un groupe de franges, dont l'une est achromatique, et qui sont d'autant plus serrées et plus nombreuses que la couche d'air est plus épaisse. L'expérience est plus brillante lorsqu'on observe la lumière transmise, comme le faisait Talbot, en rapprochant l'une de l'autre les faces hypoténuses de deux prismes dont les sections sont des triangles rectangles isoscèles. Dans ce cas, la région qui correspond à la réflexion totale reste noire, l'autre est bordée par une zone colorée où le rouge est à l'extérieur comme dans un arc-en-ciel naturel; dans l'intérieur de cet arc, on voit de très belles franges, plus ou moins serrées et nombreuses suivant l'épaisseur de la couche d'air, et qui sont tout à fait analogues aux arcs-en-ciel surnuméraires. Un petit appareil construit par M. Pellin permet de répéter facilement cette remarquable expérience.

L'explication complète du phénomène est très simple, mais ne pourrait être suivie facilement sans le secours d'une figure. Quelques explications suffiront pour qu'on puisse la rétablir. Après avoir posé les équations qui déterminent la direction apparente θ de la frange d'ordre m, correspondant à la différence de marche $m\lambda$, on écrira que la dérivée de l'angle θ par rapport à la longueur d'onde λ est nulle, pour une valeur constante de m. On en déduit l'ordre de la frange achromatique et la direction θ correspondante. D'autre part, la distance angulaire $\delta\theta$ de deux franges voisines correspond à une variation $\delta m = 1$, la longueur d'onde étant cette fois considérée comme une constante. Si l'on applique alors cette valeur de $\delta\theta$ à la frange achromatique, il se trouve que l'expression finale est presque indépendante de la longueur d'onde.

Supposons d'abord qu'il s'agisse de franges *localisées*, comme seraient les interférences des miroirs de Fresnel reçus sur un verre dépoli ou les anneaux des lames minces, et que le phénomène soit symétrique par rapport à un plan auquel les franges sont normales. En visant au travers d'un prisme, dans le plan de symétrie, on aperçoit, suivant les cas, un ou plusieurs groupes de franges dans chacun desquels l'une est achromatique.

Avec les franges d'interférence ordinaires, où la différence de marche est une fonction linéaire de la distance de chacune d'elles à un point fixe, il n'existe qu'une frange achromatisée; mais, si la loi est différente, comme dans les anneaux de Newton où le retard des rayons qui interfèrent est proportionnel à l'épaisseur de la lame et au cosinus de l'angle d'incli-

naison, plusieurs anneaux distincts sont achromatisés et forment des groupes différents de franges visibles.

Dans l'expérience d'Herschel, la distance angulaire de la frange achromatique à la limite de réflexion totale est indépendante de l'épaisseur de la couche d'air.

Quant aux franges elles-mêmes, elles suivent une loi très singulière, qu'on ne rencontre dans aucun autre phénomène d'Optique : la largeur apparente de chacune d'elles, au moins pour les premières, est proportionnelle à l'ordre m de la frange considérée, au carré de la longueur d'onde, et en raison inverse du carré de l'épaisseur de la couche d'air.

Elles s'élargissent donc de plus en plus à mesure qu'on s'écarte de la limite de réflexion totale.

Les franges que l'on observe sur le bord de la région de lumière polarisée dans les prismes de Nicol et dans le prisme de Foucault s'expliquent de la même manière.

Équivalent électrochimique de l'argent, par MM. Pellat et Potier. — L'électrodynamomètre absolu de M. Pellat, qui a été présenté à la Société il y a deux ans, permet de rapporter, avec une très grande précision, l'intensité d'un courant à l'unité théorique (C.G.S.). Nous nous sommes proposé de déterminer avec cet appareil le poids d'argent déposé, par seconde, dans un courant d'intensité électromagnétique connue. Le courant produit par 20 éléments Daniell passait dans des résistances métalliques assez élevées pour réduire son intensité à un dixième d'ampère environ, et dans un voltamètre à azotate d'argent. Parmi ces résistances, se trouvait une série R de résistances en fil de métal nickelifère dit XXX, de $0^{cm},08$ de diamètre, dont le coefficient de variation avec la température était connu, et d'ailleurs très faible, 0,00022, plongées dans du pétrole, puis un rhéostat de Wheatstone, perfectionné par M. Ducretet; une dérivation était prise aux extrémités des résistances R et contenait un électromètre Lippmann et un élément à sulfate de mercure (plongé dans un vase plein d'eau, et dont la température était mesurée par un thermomètre plongeant dans la dissolution de sulfates de zinc et de mercure) en opposition; le courant était réglé avec le rhéostat, de manière à maintenir au zéro le mercure dans l'électromètre. Le voltamètre était rempli d'une dissolution de nitrate d'argent à 15 pour 100, l'anode formée d'une espèce de dé en argent, de $2^{cm},6$ de diamètre, plongeant de 4^{cm} dans le bain; la cathode d'une lame cylindrique d'argent, concentrique à l'anode, de 5^{cm} de diamètre, et plongeant de 5^{cm} dans le liquide; les surfaces utiles étaient donc 43^{cmq} pour l'anode et $78^{cmq},5$ pour la cathode.

D'autre part, l'élément à sulfate de mercure était taré par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu; le dispositif était analogue au précédent; la même pile fournissait un courant dont le circuit comprenait l'électrodynamomètre, une des résistances R et le rhéostat; l'élément était placé en opposition dans une dérivation comprenant l'électromètre. Le courant était réglé avec le rhéostat de manière à maintenir le mercure au

zéro, et mesuré pendant ce temps à l'électrodynamomètre; si I est l'intensité du courant, r la résistance, la force électromotrice de l'élément est rI, et le courant qui a servi à l'électrolyse est $\frac{rI}{R}$: le rapport $\frac{r}{R}$ mesuré à plusieurs mois d'intervalle est toujours resté le même à moins de $\frac{1}{10000}$ mais les erreurs provenant du réglage du courant peuvent s'élever à $\frac{1}{2000}$ au plus; d'autre part, M. Pellat a estimé l'erreur maximum possible sur la valeur absolue du courant, provenant de la construction de l'appareil, à $\frac{1}{2000}$.

Les résultats de deux expériences, que la régularité du courant nous fait considérer comme bonnes, sont les suivants :

Coulombs.	Poids déposé.	Durée.
742,85	$0^{gr},8312$	6850^{s}
755,08	$0^{gr},8453$	6948^{s}

qui conduisent respectivement à $1^{mgr},1189$, et $1^{mgr},1195$ pour le poids déposé par un ampère dans une seconde.

Les nombres donnés antérieurement sont :

Kohlrausch	1,1183
Rayleigh	1,118
Mascart	1,1156
Pellat et Potier	1,1192

Mesure électrochimique de l'intensité des courants, par M. Potier. — Les sels mercureux sont ceux dans lesquels l'équivalent électrochimique du métal est le plus élevé; à ce titre, ils paraissent préférables à tous les autres pour la mesure électrochimique d'un courant. L'expérience montre que leur électrolyse est irrégulière, et que le rapport des poids d'argent et de mercure déposés par le même courant est variable. En étudiant les diverses manières de recueillir le métal déposé, soit sur du mercure, soit sur un métal, on a observé que la même force électromotrice donnait lieu à un dégagement d'hydrogène sur le métal non amalgamé et à un dépôt de mercure sur le métal préalablement amalgamé; les cathodes recouvertes d'hydrogène sont d'ailleurs, comme on le sait, très aptes à l'amalgamation, et il suffit, pour produire celle-ci, de les plonger dans le mercure qui sert d'anode.

On peut observer aussi, avec une force électromotrice dépassant 3 volts, qu'une cathode qui a subi une légère amalgamation et ne dégage plus de gaz peut en dégager de nouveau si on l'expose à l'air quelques instants, et qu'on la replonge dans le liquide sans l'avoir détachée du pôle de la pile. Ces faits présentent une certaine analogie avec ceux étudiés par M. Gernez dans ses études sur l'ébullition.

Ils sont insuffisants pour expliquer l'irrégularité de l'électrolyse sur une cathode de mercure, mais on observe que celle-ci est toujours très forte-

ment polarisée; si l'on remplace, dans l'électromètre capillaire de M. Lippmann, l'eau acidulée par la dissolution de sel mercureux, en employant des forces électromotrices inférieures à 2 daniells, les mouvements du mercure accusent nettement cette polarisation; pour des forces électromotrices plus élevées, le liquide, se renouvelant mal dans le tube capillaire, s'appauvrit en mercure et des bulles apparaissent au bout de peu temps. Il paraît vraisemblable que cette polarisation, incomparablement plus forte que celle des électrodes d'argent ou de cuivre dans les sels de ces métaux, est la cause de l'irrégularité de l'électrolyse.

Le liquide employé dans ces expériences était une solution, saturée à la température ordinaire, d'azotate mercureux, contenant 68^{gr} par litre, neutre et ne contenant pas de sel mercurique.

M. Ad. Guébhard, en son nom et celui de M. Ranque, présente un petit appareil extrêmement simple et portatif, qui permet d'éviter, par la projection directe de la poudre fine de magnésium sur une flamme de bougie, les inconvénients et les dangers des mélanges explosifs employés pour la photographie instantanée sans jour.

Le *photospire* est formé d'un simple tube de verre de 10^{cm} de long et $0^{cm},5$ de calibre, contourné en boucle de cor de chasse. Par un des bouts légèrement évasé l'on introduit la petite dose de poudre de magnésium; à l'autre bout s'adapte la poire en caoutchouc des obturateurs et, soit qu'on tienne l'appareil à la main convenablement braqué sur une bougie mobile, soit qu'on le fixe par des moyens d'attache ou des modifications de formes élémentaires, on peut, avec une seule poire, provoquer à distance, et à l'instant précis que l'on désire, un nombre quelconque de foyers lumineux simultanés, dont un seul suffirait d'ailleurs pour l'impression instantanée des plaques au gélatinobromure.

Sur l'achromatisme des interférences;

Par M. Mascart.

I. Dans une Communication à l'Académie, M. Cornu [1] a étudié le phénomène du déplacement des franges d'interférence dans la lumière blanche par l'interposition d'une lame réfringente sur le trajet de l'un des rayons, et montré que la nouvelle position apparente de la frange centrale dépend non seulement

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Academie des Sciences*, t. XCIII, p. 809; 1881.

du retard optique, mais aussi de la dispersion du milieu interposé; il a désigné sous le nom de *frange achromatique* celle qui correspond à la même phase pour les couleurs les plus importantes du spectre.

M. Stokes (1) avait déjà signalé cette propriété et vérifié par expérience que l'observation des franges au travers d'un prisme de petit angle produit un déplacement apparent de la frange de symétrie.

On doit ajouter encore que, dès la première application de la méthode du déplacement des franges à la mesure des indices de réfraction, Fresnel (2) a reconnu qu'elle était incorrecte. Dans une de ses expériences sur la topaze, il n'observa qu'un retard de 16,6 ondulations, tandis que le calcul en indiquait 21, et il ajoute :

« La différence 4,4 est trop sensible pour provenir de l'inexactitude de mes mesures micrométriques; mais il serait possible que la dispersion de double réfraction, c'est-à-dire la différence d'énergie de la double réfraction pour les rayons de diverses couleurs, modifiât tellement la superposition des franges produites par ces divers rayons, qu'il en résultât des méprises sur la position de la bande centrale, et que ce fût à une pareille cause d'erreur que tînt en partie la discordance dont il s'agit. »

II. L'emploi d'un prisme produit un autre effet très remarquable : en même temps que la réfraction change la direction apparente des franges de diverses couleurs, elle en modifie l'ouverture angulaire d'une manière inégale; la superposition des systèmes relatifs aux longueurs d'onde voisines est alors beaucoup plus parfaite que dans le phénomène primitif, et l'on peut distinguer un nombre considérable de franges de part et d'autre de celle qui est achromatisée.

C'est ainsi qu'en observant au travers d'un prisme les anneaux produits par une lame d'air entre deux verres, Newton en aperçut plus de quarante; les apparences sont alors analogues à celles que donne l'emploi d'une lumière homogène.

---

(1) *Brit. Ass. Rep.*, 2e Partie, p. 20; 1850.
(2) *Œuvres de Fresnel*, t. II, p. 268.

Pour expliquer cette particularité, je considérerai, d'une manière plus générale, un phénomène quelconque de franges localisées sur une surface S sensiblement plane, comme les interférences ordinaires reçues sur un écran, les anneaux de Newton, les bandes de polarisation chromatique dans un cristal d'épaisseur variable, etc.; je supposerai, en outre, que les franges sont symétriques par rapport à une droite, à laquelle elles sont normales, et qu'on observe dans le plan de symétrie, l'œil étant armé d'un prisme dont la section principale est parallèle au même plan.

En prenant l'axe des x sur la droite de symétrie et l'axe des y normal à la surface S, soient h l'ordonnée et $-a$ l'abscisse du point P où se trouve l'œil muni du prisme, x l'abscisse du point M considéré, i l'angle du rayon MP avec la normale, D la déviation produite par le prisme et θ l'angle du rayon réfracté avec la normale.

La différence de marche Δ des rayons qui interfèrent au point M doit être considérée en général comme une fonction de x et de i; la déviation D est elle-même une fonction de i et de l'indice de réfraction n. En désignant par λ la longueur d'onde, on peut donc écrire

$$(1)\qquad \left\{\begin{aligned} \Delta &= m\lambda = f(x, i),\\ a + x &= h \operatorname{tang} i,\\ D = \theta - i &= \varphi(i, n). \end{aligned}\right.$$

L'ordre m de la frange *achromatique* est défini par la condition que, pour une valeur constante de m, l'angle θ qui détermine la direction des rayons émergents soit le même pour les couleurs voisines. Si l'on différentie ces équations, en faisant $dm = 0$ et $d\theta = 0$, et remplaçant par L l'expression $-\lambda \frac{dn}{d\lambda}$ qui ne dépend que de la nature du prisme, il en résulte

$$(2)\qquad m\lambda\left(1 + \frac{\partial\varphi}{\partial i}\right) = L\left(\frac{h}{\cos^2 i}\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial i}\right)\frac{\partial\varphi}{\partial n}.$$

Quand on connaît la loi du phénomène d'interférence, ainsi que la nature du prisme et sa direction, les équations (1) et (2) déterminent toutes les quantités m, x, i et θ qui correspondent à la frange achromatique.

Comme l'angle apparent d'une frange est le plus souvent très

petit, on l'obtiendra en faisant $dm = 1$ dans les équations différentielles et considérant λ et n comme des constantes. L'angle apparent $d\theta$ d'une frange est alors déterminé par l'équation

$$(3) \qquad \lambda\left(1 + \frac{\partial\varphi}{\partial i}\right) = \left(\frac{h}{\cos^2 i}\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial i}\right) d\theta.$$

Pour une frange d'ordre quelconque, cet angle dépend de la longueur d'onde; mais, au voisinage de la frange achromatique, on peut tenir compte de l'équation (2), ce qui donne

$$(4) \qquad d\theta = \frac{1}{m} \mathrm{L} \frac{\partial\varphi}{\partial n}.$$

Les facteurs L et $\frac{\partial\varphi}{\partial n}$ varient très lentement avec la couleur. On voit donc que, quelle que soit la loi des interférences, la valeur de $d\theta$ au voisinage de la frange achromatique est en raison inverse de l'ordre m et presque indépendante de la longueur d'onde, de sorte qu'on y verra un très grand nombre de franges.

Il est même possible, en choisissant d'une manière convenable l'inclinaison du prisme, de rendre la coïncidence encore plus parfaite, si la dérivée du produit $\mathrm{L}\frac{\partial\varphi}{\partial n}$ par rapport à l'indice de réfraction est nulle, ce qui donne la condition

$$(5) \qquad \mathrm{L}\frac{\partial^2\varphi}{\partial n^2} + \frac{d\mathrm{L}}{dn}\frac{\partial n}{\partial\varphi} = 0.$$

En appelant A l'angle du prisme, β l'angle de la face d'entrée avec la surface S, r l'angle de réfraction du rayon MP sur cette face, r' et i' les angles relatifs à la sortie, on trouve aisément que les équations qui déterminent l'ordre de la frange achromatique, la distance angulaire des franges voisines et la condition du meilleur achromatisme deviennent

$$(2)' \qquad \frac{m\lambda}{\mathrm{L}} = \left(\frac{h}{\cos^2 i}\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial i}\right)\frac{\sin \mathrm{A}}{\cos(\beta - i)\cos r'},$$

$$(4)' \qquad d\theta = \frac{\mathrm{L}}{m}\frac{\sin \mathrm{A}}{\cos r \cos i'},$$

$$(5)' \qquad \frac{1}{\mathrm{L}}\frac{d\mathrm{L}}{dn} = \sin(\beta - i)\tang r \cos i' - \sin \mathrm{A} \tang i'.$$

On reconnaît aisément que l'emploi d'un réseau, comme appareil de dispersion, ne produirait aucun effet analogue.

Nous appliquerons ces résultats à deux cas particuliers.

Franges d'interférence. — Considérons d'abord les interférences ordinaires où les franges sont équidistantes et symétriques par rapport à l'une d'elles pour toutes les couleurs. L'origine étant prise au centre du phénomène, la différence de marche Δ est simplement proportionnelle à x, et l'on a

$$m\lambda = \alpha x, \qquad \frac{\partial f}{\partial x} = \alpha, \qquad \frac{\partial f}{\partial i} = 0.$$

Il n'existe alors qu'une frange achromatique, dont l'ordre m et l'abscisse x sont déterminés par les équations

$$x = \frac{m\lambda}{\alpha} = h\frac{L}{\cos^2 i}\frac{\sin A}{\cos(\beta - i)\cos r'}.$$

Ces valeurs de m et de x sont d'autant plus grandes, toutes choses égales, que le prisme est plus éloigné de la surface S.

Si l'observation est faite dans une direction normale à la surface, c'est-à-dire, en supprimant l'écran, sur le trajet des rayons qui interfèrent, il reste simplement

$$x = \frac{m\lambda}{\alpha} = hL\frac{\sin A}{\cos\beta\cos r'}.$$

Anneaux de Newton. — Si les anneaux sont produits par une lame d'air entre une surface plane et une surface sphérique de rayon R qui ne se touchent pas, l'épaisseur de la couche à une distance x du centre peut être exprimée par

$$e = e_0 + \frac{x^2}{2R}. \tag{6}$$

La différence de marche au point considéré est alors

$$m\lambda = 2e\cos i = \left(2e_0 + \frac{x^2}{R}\right)\cos i,$$

et l'on a

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{2x}{R}\cos i, \qquad \frac{\partial f}{\partial i} = -2e\sin i.$$

La condition d'achromatisme devient

$$(7)\qquad e\left[\frac{\cos i}{L}+\frac{\sin i\sin A}{\cos(\beta-i)\cos r'}\right]=\frac{hx\sin A}{R\cos i\cos(\beta-i)\cos r'}.$$

Il se présente même cette circonstance curieuse que l'équation finale qui donnera l'une des inconnues, telles que x ou θ, n'est pas du premier degré; il peut donc exister plusieurs franges achromatiques distinctes et plusieurs groupes de franges visibles.

Si l'on fait, par exemple, $i=0$, ce qui correspond à la vision suivant la normale à la surface, l'équation (7) se réduit à

$$x^2-2hL\frac{\sin A}{\cos\beta\cos r'}x+2Re_0=0.$$

Le problème n'est possible que si la condition

$$2Re_0<h^2L^2\frac{\sin^2 A}{\cos^2\beta\cos^2 r'}$$

est satisfaite, et les deux valeurs correspondantes de x sont alors positives.

L'une de ces valeurs est nulle pour $e_0=0$. Si donc on observe par un prisme dans ces conditions des anneaux colorés ordinaires, la tache centrale reste achromatique et l'on aperçoit à quelque distance un groupe de branches d'anneaux d'autant plus serrées et plus nombreuses que l'ordre de la frange achromatisée est plus élevé. C'est l'expérience de Newton.

III. Si l'interférence a lieu entre des ondes planes, comme dans l'appareil de Jamin, les anneaux des plaques épaisses par diffusion, les phénomènes de polarisation chromatique dans les lames à faces parallèles, etc., on doit remplacer les équations (1) par les suivantes

$$(8)\qquad \begin{cases}\Delta=m\lambda\quad=f(i),\\ D=\theta-i=\varphi(i,n),\end{cases}$$

ce qui revient simplement à supprimer la variable x.

L'ordre de la frange achromatique et l'angle apparent des

franges voisines sont alors déterminés par les équations

$$(9)\quad \begin{cases} \dfrac{m\lambda}{L} = \dfrac{\partial f}{\partial i}\,\dfrac{\sin A}{\cos(\beta - i)\cos r'}, \\ d\theta = \dfrac{L}{m}\,\dfrac{\sin A}{\cos i \cos i'}. \end{cases}$$

La valeur de $d\theta$ est la même que lorsqu'il s'agit de franges localisées.

Je prendrai seulement un exemple.

Franges d'Herschel. — En plaçant la face hypoténuse d'un prisme à section triangulaire isoscèle sur une lame de verre, de manière à laisser entre les surfaces une couche d'air d'épaisseur e sensiblement constante, W. Herschel [1] aperçut une série de franges curvilignes parallèles à la courbe qui limite la réflexion totale. Ces franges se voient nettement quand on vise à l'infini : elles sont donc produites par des interférences d'ondes planes. Dans ce cas, l'angle β est nul et la différence de marche égale à $2e\cos i$. Si l'on représente par $\varphi(i, n)$ la déviation $i + i' - A$, ce qui revient à changer le signe de i dans les équations précédentes, l'angle apparent di' d'une frange d'ordre quelconque m est

$$di' = \frac{1}{m}\,\frac{\cos^2 i}{\sin i}\,\frac{\cos r'}{\cos r \cos i'} = m\,\frac{\lambda^2}{4e^2}\,\frac{\cos r'}{\sin i \cos r \cos i'}.$$

Comme ces franges sont très voisines de la réflexion totale, on peut remplacer les angles r, r' et i' par leurs valeurs R, R′ et I′ relatives à cette direction limite, et l'on a sensiblement

$$di' = m\,\frac{\lambda^2}{4e^2}\,\frac{\cos R'}{\cos R \cos I'}.$$

Les franges d'Herschel présentent donc ce caractère très singulier que leur largeur apparente, au moins pour les premières, est proportionnelle à l'ordre de la frange et au carré du rapport de la longueur d'onde à l'épaisseur de la lame d'air.

La condition d'achromatisme est

$$\frac{\cos^2 i}{\sin i} = L\,\frac{\sin A}{\cos r'}.$$

---

[1] *Phil. Trans. L. R. S.*, p. 274; 1809.

La distance de la frange achromatique à la limite de réflexion totale est donc indépendante de l'épaisseur de la lame. Le nombre des franges visibles dans le voisinage de cette région est d'autant plus grand que la lame est elle-même plus épaisse.

Talbot [1] a observé ce phénomène dans la lumière transmise au travers d'une couche d'air comprise entre les faces hypoténuses de deux prismes identiques et a pu compter jusqu'à 200 franges à la lumière blanche.

Les franges que l'on aperçoit au bord du champ polarisé dans les prismes de Nicol ou dans le prisme de Foucault s'expliquent de la même manière.

SÉANCE DU 5 AVRIL 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 mars est lu et adopté.

M. le Président annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Louis Gosse*, licencié ès Sciences, préparateur de Physique au lycée Saint-Louis.

M. F. Osmond communique à la Société ses recherches sur les transformations du fer et du carbone dans les fers et les aciers.

M. Barrett a montré que, si on laisse refroidir à partir du blanc une tige de fer dur, il se produit vers le rouge sombre un dégagement de chaleur auquel il a donné le nom de *récalescence*. En même temps, le métal devient magnétique.

D'autre part, M. Pionchon a reconnu, pendant l'échauffement du fer, deux absorptions anormales de chaleur, l'une entre 720° et 660°, l'autre entre 1000° et 1050°.

Enfin, M. Tait et M. H. Le Chatelier ont constaté des perturbations dans la marche des couples thermo-électriques dont le fer est un des éléments.

M. Osmond s'est proposé de relier ces expériences en suivant le refroidissement d'échantillons analysés de fer et d'acier et déterminant avec précision les températures au moyen du pyromètre de M. H. Le Chatelier.

Le refroidissement lent (1° par seconde en moyenne) des divers échantillons a présenté les anomalies suivantes :

---

(1) *Phil. Mag.*, [3], t. IX, p. 401 ; 1836.

1° Fer électrolytique (0,08 pour 100 de carbone):
Le thermomètre stationne à 855°.
En outre, sa marche se ralentit entre 750° et 690°, et surtout vers 735°.

2° Acier extra-doux (0,16 pour 100 de carbone) :
Trois ralentissements entre 825°-819°, 736°-725°, 662°-655°.

3° Acier doux (0,29 pour 100 de carbone) :
Deux ralentissements ayant leurs maxima à 718° et à 660°.

4° Acier mi-dur (0,57 pour 100 de carbone) :
Un ralentissement entre 700° et 690°, suivi d'un arrêt à 661°.

5° Acier dur (1,25 pour 100 de carbone) :
Très longue station à 674°.

La dernière station, qui n'est pas représentée dans le fer doux, correspond à la récalescence de Barrett et à la transformation du carbone de trempe en carbone de recuit.

Les deux premières perturbations, distinctes dans le fer électrolytique et dans l'acier extra-doux, correspondent aux phénomènes étudiés par M. Pionchon, c'est-à-dire à deux modifications moléculaires distinctes, ou peut-être à une seule modification fractionnée. Ces deux perturbations se réunissent en une seule dans les aciers doux et mi-dur et se confondent dans l'acier dur avec la récalescence.

A mesure que la teneur en carbone augmente, la température de transformation du fer s'abaisse rapidement et la température de transformation du carbone s'élève lentement jusqu'à ce que toutes deux arrivent à coïncider.

Les points critiques s'abaissent à mesure que le refroidissement devient plus rapide, et disparaissent pendant la trempe vive; la chaleur correspondant aux transformations non effectuées reste donc disponible dans l'acier trempé : le fer et le carbone y gardent à froid, partiellement au moins, l'état qu'ils avaient aux températures élevées. Mais c'est surtout à la présence de la variété dimorphique du fer que l'acier trempé doit ses propriétés spéciales.

Quand on fait *revenir* l'acier trempé, le carbone de trempe repasse progressivement à l'état de carbone de recuit; la réaction acquiert sa vitesse maxima vers 350°; le fer reprend également sa forme stable.

La présence du manganèse et du tungstène dans les aciers produit un effet très analogue à celui de la trempe.

M. P. Curie présente à la Société une balance de précision construite dans le but d'accroître considérablement la rapidité d'exécution des pesées dans les laboratoires.

Avec cet instrument, on commence les pesées comme d'ordinaire par des essais successifs à l'aide d'une série de poids, mais on s'arrête au poids de deux décigrammes dans ces essais. On laisse ensuite la balance s'in-

cliner et on lit le restant de la pesée, à $\frac{1}{10}$ de milligramme près, sur une échelle microscopique, présentant un grand nombre de traits, qui est placée à l'extrémité du fléau. La lecture se fait à l'aide d'un microscope fixe qui traverse les parois de la cage et qui est muni d'un réticule. Lorsque le fléau s'incline, la différence de poids entre les deux plateaux est proportionnelle à la tangente de l'angle d'inclinaison de la balance; c'est précisément cette tangente qui est donnée par le micromètre.

Pour pouvoir faire les lectures, il est nécessaire que la balance se fixe rapidement dans sa position d'équilibre; on a obtenu ce résultat à l'aide d'amortisseurs à air. Ils se composent d'une ou de plusieurs cloches formées de parois cylindriques verticales, munies d'un fond à la partie supérieure. Ces cloches pendent au-dessous des deux plateaux de la balance et sont entraînées verticalement pendant le mouvement du fléau. Les parois de ces cloches plongent dans les rigoles laissées entre les parois d'un autre système de cloches renversées et fixes, placées au-dessous des premières. Bien qu'emboîtés en quelque sorte l'un dans l'autre, les deux systèmes de cloches ne se touchent jamais. Pendant le mouvement de la balance, la quantité d'air varie sous la cloche; cet air ne peut circuler instantanément, ayant à parcourir un chemin long et étroit; il en résulte des variations de pression très petites, qui suffisent pour empêcher la balance d'osciller.

On peut calculer d'avance en unités C.G.S. le coefficient d'amortissement par la formule

$$\alpha = \frac{6\pi R^2 l \varepsilon}{e^3},$$

dans laquelle R est le rayon du fond de la cloche, l la longueur du chemin que doit parcourir l'air pour s'échapper, $\varepsilon = 0,00019$ le coefficient de frottement intérieur des gaz.

On peut, d'autre part, mesurer le coefficient d'amortissement en étudiant le mouvement de la balance; on a

$$\alpha = \frac{2}{L^2} \frac{\lambda}{T} \Sigma m r^2,$$

L désignant la longueur des bras du fléau, λ le décrément logarithmique des oscillations, T la durée de la période, $\Sigma m r^2$ le moment d'inertie de la balance.

L'emploi du microscope oblige à baisser considérablement le centre de gravité du fléau. La distance entre le centre de gravité et le couteau central est de 3^{mm} dans la balance de 100^{gr} présentée à la Société. Cette distance serait de $0^{mm},03$ (cent fois plus faible) dans une balance ordinaire de même sensibilité.

Cette circonstance entraîne plusieurs conséquences : 1° l'amortissement doit être relativement considérable : le coefficient d'amortissement de chacun des amortisseurs est voisin de 100 unités C.G.S.; 2° les mouvements de la balance sont très rapides (il faut huit secondes environ pour que la

balance soit arrêtée); 3° une petite différence dans le réglage des trois couteaux a moins d'influence que de coutume au point de vue des variations de sensibilité avec la charge (dans cette balance habilement construite la sensibilité ne varie pas avec la charge).

L'amortisseur le plus convenable, au point de vue de la rapidité des pesées, est celui pour lequel le mouvement de la balance commence à devenir apériodique. La pression la plus forte dans l'amortisseur au moment de la plus grande vitesse n'atteint jamais $\frac{1}{50}$ de millimètre d'eau.

Cette balance a été construite par la Société centrale de produits chimiques.

M. Gall présente à la Société de l'acide carbonique liquide et solide, fabriqué à l'usine de Villers, par Hermès (Oise). L'acide carbonique est préparé d'une façon spéciale à l'aide des produits de la combustion du coke. Les gaz, renfermant en moyenne 18 pour 100 d'acide carbonique, sont lavés afin d'éliminer l'acide sulfureux qu'ils renferment toujours, et refoulés dans un appareil absorbeur contenant une solution de carbonate de soude ou de potasse et muni d'un agitateur convenable. L'azote et les traces d'oxygène qui l'accompagnent s'échappent dans l'atmosphère.

Le carbonate dissous est presque intégralement transformé en bicarbonate; la solution est refoulée dans une chaudière, où elle est soumise à l'ébullition; il s'en dégage de l'acide carbonique très pur. La solution de monocarbonate rentre dans le cycle des opérations.

La compression est réalisée dans un appareil à plusieurs cylindres qui est une application industrielle de la pompe à cascades de Regnault. Le gaz est successivement comprimé à 5^{atm}, 25^{atm} et 60^{atm}; il est refroidi au sortir de chaque cylindre et se liquéfie finalement dans un serpentin placé à la suite du dernier cylindre de compression.

Le récipient en fer forgé, rempli d'acide carbonique liquide, que M. Gall présente à la Société, est muni d'un robinet régulateur spécial qui permet d'obtenir un écoulement régulier de gaz carbonique.

L'acide carbonique liquide peut être solidifié avec la plus grande facilité, à l'aide de l'appareil très simple de M. Cailletet. Sous cette forme, il peut être très commodément employé dans les laboratoires et manié comme un sel quelconque. Son emploi a donné lieu, dans ces derniers temps, à de très intéressantes synthèses dans la série des dérivés carboxylés des phénols; il y a lieu de prévoir que la facilité de son maniement permettra d'enrichir la liste des combinaisons de l'acide carbonique.

M. Cailletet fait ressortir toute l'importance de la fabrication industrielle de l'acide carbonique liquide et les nombreux services que peut rendre à la Science cette substance, livrée aujourd'hui à très bas prix par M. Gall.

SÉANCE DU 19 AVRIL 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 avril est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Bouasse (Henri), Agrégé, Préparateur de Physique au Collège de France.
Jaumann (G.), Assistant au laboratoire de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

M. le Secrétaire général donne lecture d'une Lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique, annonçant que le Congrès des Sociétés savantes s'ouvrira le mardi 11 juin prochain, à 1^h30^m, au Ministère de l'Instruction publique, 110, rue de Grenelle, et que les travaux se poursuivront durant les journées des mercredi 12, jeudi 13 et vendredi 14 juin. Le samedi 15 juin sera consacré à la séance générale, qui sera présidée par M. le Ministre et se tiendra dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne.

Les Membres de la Société qui désireraient prendre part à ce Congrès et profiter de la réduction accordée à cette occasion sont priés de vouloir bien adresser leur demande au Secrétaire général, rue Violet, 67, avant le 3 mai.

M. le Président annonce qu'il a reçu de la *Société Gay-Lussac*, de Limoges, une circulaire relative à l'érection d'une statue de Gay-Lussac sur l'une des places publiques de cette ville et faisant appel au concours de la Société française de Physique. Les statuts de celle-ci ne lui permettent pas d'apporter un concours pécuniaire; mais ceux des membres de la Société qui voudront s'associer à cet hommage rendu à l'un des physiciens français les plus illustres pourront verser leur souscription au Bureau ou l'adresser directement au trésorier de la Société Gay-Lussac, 34, boulevard Gambetta, à Limoges. La note insérée à cet égard dans le *Bulletin* tiendra lieu d'avis.

M. le Président fait connaître qu'un *Congrès international des Électriciens* doit se réunir à Paris, à la fin de l'Exposition universelle, du 24 au 31 août 1889. Ce Congrès, quoique n'ayant pas à prendre des décisions aussi importantes que celui de 1881, n'en répond pas moins à des besoins impérieux. Les séances qu'il tiendra seront d'un haut intérêt. Les savants les plus éminents, en effet, s'y feront entendre, et les industriels qui ont participé aux progrès obtenus dans ces dernières années viendront exposer l'état actuel de l'industrie électrique.

Une circulaire préparée par le Comité d'organisation sera envoyée pro-

chainement aux membres de la Société et leur fera connaître les conditions d'admission.

M. D'ARSONVAL présente un galvanomètre à circuit mobile qui est une modification de l'appareil primitif qu'il a imaginé avec M. Deprez. Ce galvanomètre est destiné aux mesures qui demandent une grande sensibilité, telles que celles que l'on effectue en Électrophysiologie. Dans ce modèle, le cadre mobile est suspendu par un seul fil métallique; le fil inférieur est supprimé et le courant est amené au cadre, à la partie inférieure, par un godet à mercure dans lequel trempe un fil fin de platine qui termine le cadre. Les contacts à mercure sont toujours imparfaits, à cause de l'oxydation rapide de ce métal qui le rend bientôt visqueux et empêche ainsi le retour au zéro du conducteur mobile. Tous les acides qu'on peut employer pour purifier le mercure n'empêchent pas ce phénomène. Cela tient à ce que, en présence de l'excès de mercure, il se forme des protosels qui sont tous insolubles. M. d'Arsonval a trouvé qu'une solution aqueuse de cyanure de potassium surmontant le mercure ne présente pas cet inconvénient; elle dissout l'oxyde de mercure et le métal reste toujours propre sans présenter aucune viscosité. Dès lors, et par suite aussi de la suspension unifilaire qui amortit les vibrations, on peut faire la lecture au moyen de l'échelle micrométrique décrite autrefois par M. d'Arsonval.

Le galvanomètre présenté à la Société par M. d'Arsonval et dont M. Carpentier a fait un modèle particulier a un cadre de 200 ohms de résistance. Dans ces conditions, et en se plaçant à 1^m, l'appareil donne une division de l'échelle transparente Carpentier pour 1 volt dans 60 mégohms. Avec l'échelle micrométrique de M. d'Arsonval, la sensibilité atteint 1 division pour 1 volt dans 900 mégohms. Cette sensibilité est donc comparable à celle d'un thomson et l'appareil conserve les précieuses qualités qu'on lui connaît.

M. d'Arsonval présente un second galvanomètre à circuit mobile, construit également par M. Carpentier. Cet appareil est à lecture directe et à grande déviation (180° du cercle dans le modèle présenté). Il repose sur un principe un peu différent de celui qui vient d'être décrit. On sait que, si l'on fait traverser un conducteur mobile, parallèle à un barreau aimanté, par un courant, ce conducteur tourne autour de l'aimant d'un mouvement continu. En un mot, le couple moteur est constant et indépendant de la position angulaire du conducteur. M. d'Arsonval avait, en 1882, présenté à la Société un ampèremètre basé sur ce principe; le couple moteur était équilibré par la torsion d'un fil métallique, de telle façon que les déviations de l'appareil restaient proportionnelles aux intensités, quel que fût l'angle de rotation. Dans ce dispositif, on ne peut pas multiplier l'action de l'aimant sur le circuit mobile en enroulant ce dernier sur lui-même. Dans l'appareil présenté aujourd'hui, M. d'Arsonval a tourné la difficulté de la manière suivante :

Le pôle aimanté est un cylindre creux en fer doux, polarisé par un

aimant permanent. Le circuit mobile est formé d'un cadre galvanométrique mobile autour d'*un de ses côtés qui occupe le centre du tube de fer polarisé*. Ce côté est soustrait à l'action des lignes de force; l'autre côté, au contraire, subit leur influence au même degré, quel que soit l'azimut dans lequel il est placé.

Pour renforcer le champ magnétique, le second pôle de l'aimant vient envelopper le premier et forme ainsi un champ magnétique annulaire, d'égale intensité, dans lequel se meut le côté du cadre resté mobile. Les déviations sont ainsi proportionnelles aux intensités à moins de $\frac{1}{100}$ près, d'après les essais faits par M. Violet, et l'on peut donner au cadre un parcours de plus de 300° si on le désire. Dans la pratique, on s'est contenté de 180°. L'appareil est gradué en milliampères. Il sert surtout pour la mesure des courants employés en Électrothérapie.

Enfin, M. d'Arsonval présente un enregistreur très simple qu'il a fait construire par MM. Richard frères et qui consiste simplement en un petit mouvement d'horlogerie qui peut descendre par son propre poids le long d'une crémaillère verticale; un balancier spiral règle la chute. Ce mouvement d'horlogerie porte un petit cadre d'aluminium sur lequel on vient coller la feuille de papier destinée à recevoir le tracé soit à l'encre, soit par la photographie. L'appareil présenté marche vingt-quatre heures et la feuille descend à raison de 1^{cm} à l'heure, mais on peut avoir telle vitesse et telle durée qu'on le désire. M. d'Arsonval n'a d'ailleurs utilisé qu'un modèle que MM. Richard emploient à d'autres usages, mais tel qu'il est cet appareil a le grand avantage d'être à la fois léger, simple, précis et bon marché.

M. Potier s'est proposé de chercher, dans les idées de Fresnel, une explication du pouvoir rotatoire magnétique. Pour Fresnel, la matière pondérable participe dans une certaine mesure, variable avec la longueur d'onde, au mouvement lumineux. Cette participation a été mise hors de doute, indépendamment de toute hypothèse sur la nature de la lumière, par les expériences de M. Fizeau sur l'entraînement des ondes lumineuses par la matière pondérable en mouvement. D'autre part, dans un champ magnétique, chaque molécule devient un petit aimant dont l'axe, en l'absence de tout mouvement lumineux, est dirigé comme la force magnétique.

Pendant la propagation du mouvement lumineux, on doit donc supposer dans le milieu transparent de petits aimants disséminés et participant à ce mouvement. Si le rayon lumineux est perpendiculaire à la direction du champ, ces petits aimants, dont l'axe magnétique est dans le plan d'onde, se déplacent parallèlement à eux-mêmes, sans que leur axe magnétique change de direction, sans que leur moment magnétique varie et leur mouvement n'induit aucune force électromotrice dans le milieu ambiant; la propagation de la lumière, considérée comme une perturbation électromagnétique, n'est pas altérée.

Mais, si le rayon lumineux est dirigé suivant la force du champ, l'axe magnétique doit osciller dans le plan passant par le rayon et la vibration; sa direction change donc périodiquement, ainsi que les composantes de son mouvement magnétique, et des forces électromotrices perpendiculaires au plan dans lequel se meut cet axe sont induites; par conséquent, dans la théorie électromagnétique, il convient d'ajouter aux forces électromotrices induites par les courants du milieu ambiant (c'est-à-dire aux forces élastiques de la théorie ordinaire des ondulations) une force perpendiculaire à la vitesse, située dans le plan d'onde, périodique et proportionnelle à la vitesse angulaire des petits aimants, ce qui entraînera la rotation du plan de polarisation.

Ce résultat, à peu près évident *a priori*, peut s'établir par le calcul; celui-ci conduit, pour les équations qui déterminent les déplacements ξ et η rapportés à deux axes coordonnés dans le plan d'onde, aux formes suivantes, en représentant par K le pouvoir spécifique inducteur du milieu, $K\mu$ le carré de l'indice, ωM le moment magnétique de la substance par unité de volume, γ le cosinus de l'angle des rayons lumineux et de la force magnétique et enfin h une constante spéciale dont la valeur dépend de la participation du milieu pondérable au mouvement lumineux :

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = K\left(\mu \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} - \omega M h \gamma \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2}\right),$$

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} = K\left(\mu \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + \omega M h \gamma \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2}\right).$$

Ces équations expriment que les rayons circulaires de sens inverse se propagent avec des vitesses différentes ou que le milieu possède le pouvoir rotatoire. Ce pouvoir doit être, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à $M\gamma$, ou à la composante, suivant le rayon lumineux de la force magnétique : c'est la *loi de Verdet.*

La théorie électromagnétique de la lumière établit donc un lien entre les expériences de M. Fizeau et la découverte de Faraday.

M. Pellin présente, au nom de M. A. Dupré, sous-chef au Laboratoire municipal, un réfractomètre pour déterminer rapidement les indices de réfraction des liquides ou des gaz; appareil qu'il a construit suivant ses indications.

Le principe de cet instrument est le suivant : deux prismes de même angle disposés en sens inverse, formant un parallélépipède oblique; l'un est en crown d'indice connu, l'autre creux, destiné à recevoir le liquide ou le gaz dont on veut mesurer l'indice.

Ces deux prismes ont rigoureusement le même angle.

Un dispositif particulier réalisé mécaniquement permet de faire arriver le rayon incident normalement à la face du prisme le moins réfringent, ou de recevoir le rayon émergent normalement à cette même face.

On fait deux lectures sur un limbe divisé qui porte un vernier donnant

la minute, l'une avec le rayon incident normal à la face d'entrée du prisme le moins réfringent (lecture à gauche), l'autre avec le rayon émergent normalement à cette même face (lecture à droite); la demi-somme des lectures donne la déviation δ.

Les formules qui donnent l'indice de réfraction sont, en supposant $n' < n$ (n' indice cherché, n indice du crown),

$$n' = n \frac{\cos[(180 - A) - \varphi]}{\sin A},$$

et, posant $n'_1 > n$,

$$n'_1 = n \frac{\cos(\varphi - A)}{\sin A},$$

n', n'_1 indices cherchés, n indice du crown, A angle des prismes, $\varphi = \frac{\sin\delta}{n}$, δ déviation lue.

On peut se servir d'un Tableau de courbes des indices de réfraction croissants ou décroissants par rapport à celui du crown, comme cela se fait au Laboratoire municipal de Paris; une simple lecture donne l'indice de réfraction à une demi-unité près de la quatrième décimale de l'indice.

Réfractomètre de M. A. Dupré. Appareil pour mesurer les indices de réfraction des liquides ou des gaz, construit pour le laboratoire municipal de Paris; par M. Ph. Pellin.

Principe de la méthode. — Considérons deux prismes de même angle An et An' disposés en sens inverse, de manière à former un biprisme dont les faces extérieures soient parallèles entre elles.

Pour plus de clarté, nous supposerons, dans la figure, les deux prismes séparés l'un de l'autre par une couche d'air à faces parallèles.

n et n' étant les indices de réfraction des prismes, supposons

$$n' < n.$$

Examinons un cas particulier réalisable mécaniquement, celui où le rayon émerge normalement à la face externe du prisme le moins réfringent ou, ce qui revient au même, le cas où l'incidence est normale à cette même face.

Dans ces conditions, la déviation totale δ devient égale à r ét

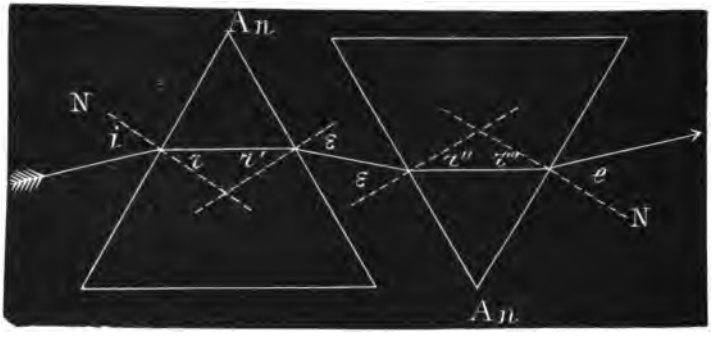
l'on a

$$e = 0,$$
$$r''' = 0,$$
$$r + r' = A,$$
$$r'' = A,$$

et, en se servant des formules connues,

$$\sin i = n \sin r, \tag{1}$$
$$n' \sin r'' = n \sin r', \tag{2}$$
$$\sin e = n' \sin r''' = 0. \tag{3}$$

Fig. 1.



Après avoir remplacé i, r, r', r'' par leurs valeurs, on arrive à la formule suivante

$$n' = \sin \delta \cot A + \sqrt{n^2 - \sin^2 \delta}, \tag{4}$$

qui donne la valeur de
n' en fonction de valeurs connues;
n indice de réfraction de la matière du prisme le plus réfringent;
δ déviation totale;
A angle du prisme.

Pour rendre la formule (4) calculable par logarithmes, il convient de poser

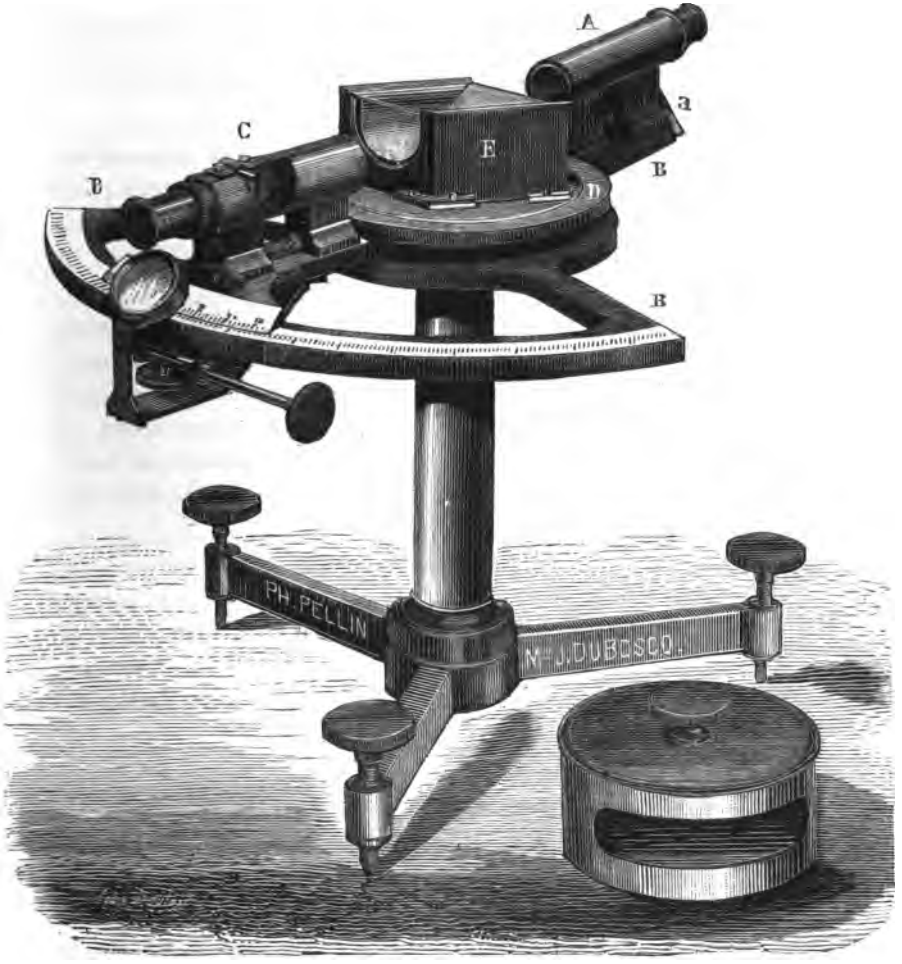
$$\cos \varphi = \frac{\sin \delta}{n}; \tag{5}$$

on a, en supposant toujours $n' < n$,

$$n' = \frac{n \times \cos(\varphi - A)}{\sin A}. \tag{6}$$

Description de l'appareil. — Il se compose d'un arc de cercle B monté sur un pied à vis calantes ; le limbe est divisé en demi-degrés.

Fig. 2.



Un prolongement fixe de l'arc de cercle supporte en A un collimateur à réticules en croix, qui peut être éclairé par la lumière monochromatique d'un brûleur à chlorure de sodium fixé à demeure dans l'axe du collimateur.

Une lunette C, dont le réticule est en croix de Saint-André, est

invariablement fixée sur une alidade à double vernier permettant la lecture de la minute (29 divisions du limbe correspondant à 30 divisions du vernier).

Les positions respectives de la lunette et du vernier sont réglées une fois pour toutes par le constructeur, de manière à superposer le réticule de la lunette au point de croisement des fils du collimateur, quand la déviation est nulle et que le zéro du vernier coïncide exactement avec le zéro du limbe.

D est un plateau mobile autour d'un axe vertical : son mouvement peut être indépendant de celui de l'alidade ; ce plateau porte à sa surface supérieure des repères saillants entre lesquels le biprisme E peut être encastré dans une position invariable et en maintenant ses faces normales au plan du limbe.

Le biprisme E est formé par deux prismes [1] de 60°, l'un plein en crown, l'autre creusé en forme de demi-cylindre parallèlement à sa base ; ces deux prismes sont accolés en sens inverse par leurs faces symétriques et la surface antérieure du prisme creux est fermée par une glace à faces parallèles ; tout le système est maintenu en contact par une garniture métallique qui s'emboîte exactement entre les repères du plateau D.

La tranche du plateau D est percée de deux trous coniques qui permettent, au moyen de la tige à ressort *a*, de rendre le plateau fixe et de placer le biprisme dans la position de l'incidence normale, ou, à l'aide de la tige à ressort C, d'entraîner le plateau, et le biprisme solidairement avec l'alidade dans la position de l'émergence normale.

Manipulation. — Placer le biprisme dans les encastrements du plateau D et verser le liquide dont on veut prendre l'indice dans le prisme creux.

Si le liquide est moins réfringent que la matière du prisme plein, on réalise l'incidence normale en tournant le plateau de manière à engager la tige dans le trou placé du côté de la face extérieure du prisme creux ; on allume la lampe monochroma-

---

[1] Pour avoir exactement le même angle pour les deux prismes, il convient de les couper perpendiculairement aux faces dans un prisme unique.

tique, puis on observe dans la lunette en la poussant peu à peu vers la gauche jusqu'à ce que son réticule se superpose à celui du collimateur et on lit la déviation A.

On retire la tige a et on la cale sur la partie postérieure de la monture du collimateur; on rend libre la tige C et l'on tourne le plateau D en sens inverse de la marche des aiguilles d'une montre, jusqu'à ce que la tige C s'engage dans le trou creusé du côté de la face extérieure du prisme creux.

L'instrument ainsi disposé pour observer dans la position de l'émergence normale, il suffit d'observer en entrainant en même temps de gauche à droite la lunette et le plateau supportant le biprisme, jusqu'au moment où l'on obtient la coïncidence des réticules de la lunette et du collimateur, puis on fait une nouvelle lecture Δ'.

La déviation δ produite par le biprisme est donnée par la demi-somme des deux lectures

$$\delta = \frac{\Delta + \Delta'}{2}.$$

Connaissant, une fois pour toutes, l'indice n du crown du prisme plein $n = 1,5169$, la valeur de l'angle $A \doteq 60^\circ,1$, qui est rigoureusement le même pour le prisme plein et le prisme creux, on a tous les éléments nécessaires pour calculer les formules (5) et (6).

Lorsque l'indice à mesurer est plus grand que celui du crown, on opère de la même façon, en ayant soin de produire l'incidence et l'émergence normales à la face extérieure du prisme plein.

Ces calculs peuvent du reste être évités en traçant d'avance pour chaque instrument les courbes des indices plus petits et plus grands que celui du crown; on prend pour ordonnées les déviations croissantes et pour abscisses les indices calculés correspondants.

Cet instrument évite les tâtonnements plus ou moins longs auxquels on est exposé en employant les appareils ordinaires pour placer les faces des prismes perpendiculairement au plan du limbe et pour rechercher la position du minimum.

La détermination d'un indice par un observateur non exercé se fait en moins de cinq minutes quand on se sert de courbes à grande échelle; celles établies au laboratoire municipal de Paris

permettent la détermination des indices avec quatre décimales.

Un millimètre représente une minute ou deux unités de la quatrième décimale des indices.

SÉANCE DU 3 MAI 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 avril est lu et adopté.

M. le Président fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire en la personne de M. *Warren de la Rue,* l'un de ses membres les plus distingués. M. Warren de la Rue, qui était à la fois un industriel et un savant, professait pour la Science un véritable dévouement. Ainsi, il a établi à l'observatoire d'Oxford un système d'observations et a pris à sa charge les frais d'appareils et le traitement de l'observateur. Tout le monde connaît la pile au chlorure d'argent qu'il avait installée dans son laboratoire et portée graduellement jusqu'au nombre de 20000 éléments. Cette pile a permis d'entreprendre des travaux intéressants, qu'il a publiés dans les *Annales de Chimie et de Physique.* A ces titres, on doit ajouter que M. Warren de la Rue, qui était d'origine française et avait fait ses études en France, accueillait les savants français avec la plus grande affabilité. Il a été l'un des premiers adhérents de la Société française de Physique et a fait partie à deux reprises de son Conseil. La Société lui doit donc un hommage particulier.

M. R. Arnoux présente sur l'équilibre dynamique des systèmes statiquement équilibrés quelques considérations sur lesquelles il attire particulièrement l'attention des constructeurs. Il fait observer qu'en général c'est une illusion de croire qu'un système rotatif quelconque, *statiquement* équilibré par rapport à son axe, est nécessairement équilibré *dynamiquement* par rapport à ce même axe, et que c'est seulement dans le cas tout particulier où il y a symétrie absolue du système que l'équilibre dynamique est réalisé.

En effet, un système rotatif quelconque, statiquement équilibré, peut toujours se réduire à deux masses m et m', telles que la droite qui les joint passe par l'axe et telles qu'on ait

$$mr = m'r'.$$

Ceci posé, si le système est animé d'une vitesse angulaire ω *uniforme* et la même pour les deux masses à cause des liaisons, on a, en multipliant

les deux termes de l'égalité précédente par ω^2,

$$m\omega^2 r = m'\omega^2 r',$$

et les efforts centrifuges exercés, les seuls qu'il y ait à considérer dans ce cas s'équilibrent en vertu de ces mêmes liaisons.

Si maintenant la vitesse angulaire vient à varier, il y a nécessairement pour chaque masse absorption ou restitution d'énergie. Or les quantités d'énergie emmagasinées sont respectivement $\frac{1}{2}$ de $m\omega^2 r^2$ et $\frac{1}{2}$ de $m'\omega^2 r'^2$ et leur rapport est égal au rapport $\frac{r}{r'}$ des distances à l'axe; elles ne sont donc égales que dans le cas où ces distances sont les mêmes.

Supposons que la vitesse angulaire ω vienne à varier d'une quantité $\partial\omega$ dans le temps ∂t. Pour déterminer les forces supplémentaires f et f' qui viennent agir alors sur les masses m et m', il suffit d'exprimer, pour chaque masse, que le travail élémentaire absorbé ou restitué est égal et de signe contraire à la variation de l'énergie ou, ce qui revient au même, que la *puissance* absorbée ou restituée est égale et de signe contraire au *taux* de cette variation.

Pour l'une des masses on a

$$fr\omega = -m\omega r^2 \frac{\partial\omega}{\partial t}$$

et pour l'autre

$$f' r'\omega = -m'\omega r'^2 \frac{\partial\omega}{\partial t},$$

car l'accélération angulaire $\frac{\partial\omega}{\partial t}$ est nécessairement la même pour les deux masses à cause des liaisons. Divisant membre à membre les deux équations précédentes, on a

$$\frac{f}{f'} = \frac{mr}{m'r'}.$$

Or les moments mr et $m'r'$ étant égaux par hypothèse ou par construction, les forces f et f' sont égales et leur centre d'équilibre est *dans tous les cas* situé exactement *au milieu* de la droite qui joint les masses, c'est-à-dire généralement en dehors de l'axe de rotation et d'équilibre statique du système. Il résulte de là que le centre d'équilibre statique ne peut être un centre d'équilibre *dynamique* que dans le cas où il y a symétrie absolue par rapport à l'axe de rotation. Dans tout autre cas, il se produira toujours des flexions sur cet axe et des trépidations de paliers d'autant plus considérables et plus violentes que la dyssymétrie du système sera plus grande et la loi de variation de la vitesse angulaire en fonction du temps plus rapide.

Si l'on remarque qu'en pratique le mouvement varié est la règle et le mouvement uniforme l'exception, on conçoit immédiatement quelle importance il y a pour l'ingénieur constructeur à réaliser la symétrie parfaite

dans les appareils animés de grandes vitesses angulaires, comme les poulies et les induits de machines dynamos par exemple.

Les considérations précédentes expliquent l'impossibilité pratiquement absolue qu'il y a d'équilibrer l'attirail des machines à vapeur rapides à mouvements alternatifs et d'éviter, par conséquent, toute trépidation dans ces machines. Elles montrent également le danger qu'il y a pour un mécanicien d'arrêter brusquement une locomotive, et les exemples ne manquent pas de ces victimes du devoir trouvées la main crispée sur le régulateur de leur machine.

M. Vaschy rappelle la théorie de la polarisation rotatoire magnétique exposée par M. Potier dans la séance précédente. Cette théorie est fondée sur les deux hypothèses suivantes :

1° Que la matière pondérable est entraînée avec une vitesse proportionnelle à celle de l'éther, qui serait elle-même proportionnelle au courant électrique;

2° Que les molécules d'un corps pondérable deviennent de véritables aimants sous l'action d'un champ magnétique.

Cette deuxième hypothèse est conforme au mode ordinaire d'interprétation de l'action d'un champ magnétique sur un milieu pondérable; mais il peut y avoir intérêt néanmoins à s'en affranchir. En réalité, la première hypothèse suffit pour expliquer le phénomène de la polarisation rotatoire magnétique; car, si la matière pondérable est entraînée par les ondes qui se propagent dans le champ magnétique préalablement existant, il en résulte, suivant une loi connue, une force électromotrice induite, perpendiculaire et proportionnelle à la fois à la force magnétique et à la vitesse d'entraînement.

Le fait de l'entraînement de la matière pondérable, si heureusement introduit par M. Potier dans l'explication du phénomène en question, paraît s'imposer. La dilatation électrique, la polarisation électrolytique et d'autres exemples d'actions de l'électricité sur la matière pondérable mettent en évidence cet entraînement, sans qu'il soit nécessaire de faire des suppositions sur la constitution et le mouvement de l'éther. Il reste toutefois, pour compléter la théorie, à justifier l'hypothèse d'après laquelle la vitesse d'entraînement de la substance diélectrique serait proportionnelle au courant électrique.

Au sujet de cette Communication, M. Mascart constate que les beaux travaux de M. Potier sur la polarisation rotatoire magnétique auront, entre autres avantages, celui d'appeler plus vivement l'attention des savants sur la théorie électromagnétique de la lumière établie par Maxwell.

M. Chaperon expose les études qu'il a entreprises pour remédier aux inconvénients bien connus des bobines de résistance actuelles, à fil double dans les mesures par les courants alternatifs ou par les méthodes de décharge.

Conformément à l'opinion déjà exprimée d'ailleurs par Kohlrausch, M. Cornu, et d'autres observateurs, l'auteur a montré par des expériences qualitatives simples que la capacité électrostatique et les actions analogues, *dues à l'enroulement à fil double*, et non la self-induction, étaient la cause de ces inconvénients; il espère d'ailleurs donner avant peu des mesures de ces effets.

Il est parvenu ensuite à diminuer considérablement les effets de capacité et autres, en remplaçant l'enroulement double par un autre où l'on prend soin de ne mettre en contact que des couches de fil séparées par de faibles résistances; la self-induction qui reparaîtrait est alors éliminée par une alternance de sens de toutes les couches. Cet enroulement s'exécute avec facilité au moyen d'une machine qui est présentée à la Société.

Les bobines ainsi construites, essayées sur un pont à fil de construction spéciale et qui est également présenté, donnent, dans les conditions de sensibilité convenables pour les mesures, la même exactitude que des résistances rectilignes.

M. Cornu dit qu'il a assisté aux expériences de M. Chaperon. Il a constaté que ses bobines sont véritablement remarquables au point de vue des mesures de résistance par la méthode du pont de Wheatstone et des courants alternatifs. Le téléphone employé dans ses expériences était si sensible aux perturbations de toutes sortes, attribuées généralement à la self-induction, à la capacité électrostatique ou à d'autres effets, que l'enroulement de 7 à 8 tours de fil sur un cylindre de 2^{mm} de diamètre suffisait pour empêcher l'extinction du son. On voit par là combien est réel l'avantage d'un mode d'enroulement des bobines qui fait disparaître même ces faibles perturbations.

M. Pellat présente à la Société, au nom de M. Deleuil, un modèle de balance portant 200^{gr} dans chaque plateau sensible au dixième de milligramme. Les perfectionnements apportés sont les suivants : cette balance est comme toujours à trois plans d'agate, mais tous les points de support du fléau et des étriers sont avec bornes garnies d'agate, afin d'éviter le collage qui a souvent lieu entre les pointes et les parties métalliques; de plus, les arrêts des plateaux sont disposés dans de meilleures conditions qu'on ne l'a fait jusqu'ici; le système adopté par M. Deleuil permet selon la charge de régler avec précision le contact du dessous des plateaux. Les leviers sont tellement combinés que, à l'insu de l'opérateur, au moment où il met le plan incliné en mouvement, les plateaux deviennent libres les premiers, puis les autres mouvements se suivent comme auparavant.

M. Pellat présente en outre un nouveau modèle de balance à plans d'agate pouvant porter 100^{gr} dans chaque plateau sensible au cinquième de milligramme avec cavaliers. M. Deleuil a cherché dans cet instrument autant de simplicité que possible dans les formes et dans le montage et pense qu'il pourra rendre des services dans les laboratoires de Physique et de Chimie.

SÉANCE DU 17 MAI 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MALLARD.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 mai est lu et adopté.

M. le Secrétaire général signale, parmi les pièces de la Correspondance, l'envoi d'une Note de M. le comte L. Hugo, *Sur la morphologie de la tour Eiffel,* et des Notes de M. E. Delaurier : 1° *Observations sur l'emploi des verres colorés en Photographie;* 2° *Théories nouvelles des causes des maladies et des fermentations.*

M. Potier fait ressortir les différences qui existent entre la théorie présentée par M. Vaschy pour expliquer la polarisation rotatoire magnétique et celle qu'il a proposée antérieurement. Dans la théorie de M. Vaschy, le pouvoir rotatoire ne dépendrait que du coefficient qui exprime l'entraînement des ondes lumineuses par la matière pondérable, coefficient purement optique et lié à l'indice, tandis que la théorie de M. Potier fait intervenir les propriétés magnétiques de la matière, ce qui paraît plus conforme à l'expérience.

D'autre part, il semble difficile de rendre compte de l'expérience de M. Fizeau sans admettre la coexistence de deux milieux distincts dans la matière transparente; et l'hypothèse de molécules disséminées dans l'éther, qui explique à la fois cette expérience et les phénomènes de la dispersion, n'a pas été imaginée pour expliquer le pouvoir rotatoire. Cette hypothèse entraîne nécessairement l'existence des petits aimants auxquels M. Potier a fait allusion et n'est pas une hypothèse nouvelle.

Jusqu'à présent, on ne voit pas comment l'expérience de M. Fizeau peut se concilier avec la conception d'une matière homogène, comme M. Vaschy la considère; la théorie de Maxwell, appliquée à la propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu homogène en mouvement, ne paraît pas pouvoir l'expliquer.

A propos de la communication de M. *Arnoux*, *Sur l'équilibre dynamique des systèmes statiquement équilibrés,* M. Pellat fait remarquer qu'un système de deux forces égales parallèles et de sens contraires, constituant un couple, ne tend pas à faire tourner le corps solide autour du milieu M de la droite qui joint les points d'application des forces, comme l'a admis M. Arnoux. On peut, en effet, placer où l'on veut ce point milieu M, puisqu'on peut, sans changer l'effet, remplacer un couple par tout autre ayant même moment et situé dans le même plan. C'est autour du centre de gravité qu'un couple tend à faire tourner le corps solide auquel il est appliqué. Si, en effet, le centre de gravité est primitivement immobile, il restera encore immobile de lui-même après l'application du couple, en vertu du théorème bien connu sur le mouvement du centre de gravité :

Le mouvement du centre de gravité d'un système est le même que si toute la masse du système était concentrée en ce point et que toutes les forces agissant sur le système lui fussent appliquées en conservant la même grandeur et la même direction

Puisque M. Arnoux suppose que le centre de gravité est sur l'axe de rotation, on voit que la variation de vitesse angulaire produite par un couple ne peut tendre à entraîner cet axe de rotation, contrairement à la conclusion de l'auteur.

M. Arnoux invoque comme preuve à l'appui de sa conclusion le fait que la transmission d'une scie circulaire est parfois jetée à bas, quand la vitesse de la scie est brusquement diminuée en lui faisant mordre une pièce de bois. Ce fait s'explique aisément par l'énorme tension qui se produit alors dans l'une des moitiés de la courroie de transmission.

M. Lallemand présente à la Société un nouvel appareil, le *médimarémètre,* qu'il a imaginé pour déterminer le niveau moyen de la mer en un point.

Les opérations géodésiques sont toutes rapportées à la *surface du niveau moyen des mers, idéalement prolongée sous les continents,* bien que cette surface, déterminée par un grand nombre de niveaux moyens pris dans les divers océans et en différents points du littoral, ne soit pas *de niveau,* c'est-à-dire normale en tous ses points à la direction de la pesanteur.

D'ailleurs, le niveau de la mer en un point donné présente des variations complexes plus ou moins périodiques (marées semi-diurne, semi-mensuelle, semi-annuelle, séculaire, etc.), auxquelles s'ajoutent des *variations irrégulières* dues à l'influence du vent, de la pression barométrique, de la température ou de la salure de l'eau, à la configuration du littoral, etc.

La cote du niveau moyen, pour une période et en un point donnés, est la moyenne des hauteurs de l'eau par rapport à un point fixe, relevées à chaque instant de la période considérée. Pour en étudier les variations, il faut établir le long des littoraux des postes d'observation, reliés entre eux par des nivellements de précision.

Les anciennes méthodes d'observation (lectures directes sur une échelle de port, marégraphes simples ou marégraphes totalisateurs) ne peuvent offrir, sans de grandes dépenses de temps ou d'argent, les garanties voulues d'exactitude. Le *médimarémètre* fournit, au contraire, une solution simple et économique du problème. L'appareil est basé sur l'amortissement des ondes traversant une lame poreuse : l'amplitude est réduite et la phase retardée, mais le niveau moyen reste le même.

L'instrument se compose d'un tube étanche, fermé à la partie inférieure par une paroi poreuse à travers laquelle l'eau filtre lentement. Ce tube est invariablement fixé dans un puits communiquant avec la mer ou contre un mur de quai. On relève une fois par jour le niveau de l'eau dans le tube. A cet effet, on y descend à fond une sonde contre laquelle on a fixé une étroite bande repérée de papier préalablement sensibilisé au sulfate de

fer et à la noix de galle. La partie mouillée du papier devient noire. Les bandes sont rapprochées et les points de repère alignés; le diagramme obtenu est réduit à petite échelle ($\frac{1}{10}$) par voie photographique, par exemple, et l'aire en est déterminée au planimètre. On calcule ainsi le *niveau moyen mensuel* et *annuel*.

Un certain nombre de ces appareils fonctionnent déjà avec un plein succès (quelques-uns depuis plusieurs années) en France, en Algérie, en Tunisie et en Italie.

M. G. Weiss rend compte des recherches qu'il a faites sur le pouvoir séparateur de l'œil.

Les taches lumineuses qui se forment sur la rétine quand on regarde un point proviennent de trois causes :

1° La diffraction par les bords de la pupille;

2° L'imperfection du système réfringent de l'œil;

3° La diffusion.

On peut calculer aisément quelle peut être la part de la diffraction et constater qu'elle n'intervient que pour une part très faible dans la limite de la séparation.

Lorsque les points lumineux que l'on regarde sont assez brillants et qu'en se plaçant à une distance convenable on est à la limite, on peut faire apparaître la séparation en diminuant cette intensité lumineuse. Pour une distance déterminée des deux points et une certaine position de l'œil, il y a donc une intensité déterminée pour chaque couleur de lumière qui produit la limite de la séparation. Ces intensités limites pour les diverses lumières peuvent donc être considérées comme équivalentes au point de vue des impressions produites sur la rétine et il en résulte un moyen de comparer les effets physiologiques de lumières diversement colorées. Il est bien évident que cette comparaison n'a de valeur que pour un individu déterminé, car il est fort peu probable que tous les yeux soient également sensibles pour les diverses radiations.

M. Joubert, qui vient, avec le concours de M. de Nerville, de répéter les expériences de Hertz, regrette de ne pouvoir les reproduire complètement devant la Société ; il dira seulement quelques mots des appareils employés et des résultats obtenus, et, pour le reste, il prie les Membres de la Société de vouloir bien venir voir les expériences au laboratoire d'Électricité, place Saint-Charles, où elles sont installées.

Les expériences de Hertz consistent, comme on sait, à produire dans un conducteur des oscillations électriques d'une rapidité extrême, dont la période ne dépasse guère quelques billionièmes de seconde. Ces oscillations déterminent dans l'éther environnant des vibrations transversales qui se propagent avec la même vitesse que les vibrations lumineuses, qui donnent lieu aux mêmes phénomènes d'interférence, de réflexion et de réfraction, et qui paraissent n'en différer que par la longueur de la période.

L'*excitateur*, placé sous les yeux de la Société, est un conducteur

rectiligne terminé à ses extrémités par deux grosses sphères et coupé en son milieu. Chacune des moitiés est mise en communication avec les pôles d'une bobine de Ruhmkorff et les extrémités en regard sont munies de deux petites boules qu'on écarte de quelques millimètres.

Des étincelles jaillissent entre les deux boules, mais ne donnent pas toujours les oscillations demandées; la production des oscillations rapides dépend de conditions complexes et même assez mystérieuses : les dimensions de la bobine, la distance des deux boules, leur degré de poli ont une influence ; une lumière violette un peu vive les arrête complètement.

Lorsque les oscillations se produisent, il n'existe pas dans la salle, ni même dans les salles voisines, de morceau de métal, grand ou petit, dont on ne puisse tirer des étincelles. On les voit jaillir entre les deux extrémités d'un fil que l'on recourbe en arc, de deux pièces de monnaie que l'on rapproche; on en tire des conduites du gaz, de l'eau, etc.

Pour étudier ces étincelles, M. Hertz se sert d'un fil contourné en cercle et dont les extrémités peuvent être rapprochées à volonté. Pour un diamètre donné du cercle, les étincelles prennent une longueur maximum ; la période du mouvement électrique exercé dans le fil qui constitue le cercle est alors la même que celle de l'excitateur et le cercle agit comme *résonateur;* en conservant le même diamètre au cercle, mais faisant faire plusieurs tours au fil, on diminue l'action au lieu de l'augmenter.

Ces étincelles, qui peuvent avoir 10^{mm} à 12^{mm} dans le voisinage de l'excitateur, décroissent rapidement, mais elles sont encore visibles à 15^{m} ou 20^{m} de l'appareil.

M. Joubert espérait rendre ces effets si curieux d'induction visibles à un auditoire en employant une grenouille; la grenouille ne donne absolument rien.

Au lieu du cercle de M. Hertz, l'appareil qu'il emploie avec M. de Nerville se compose de deux tiges formées par des fils de cuivre, placés bout à bout et dont les extrémités portent des capacités formées par des feuilles d'étain de grandeur convenable.

L'étincelle part dans l'intervalle que laissent entre eux les deux fils. Quand l'excitateur fonctionne dans la grande salle du laboratoire et que la longueur des fils et la grandeur des capacités sont bien réglées, on observe des étincelles dans toutes les autres salles, dans la cour, dans la rue, même à plus de 50^{m} de distance et à travers plusieurs murs.

Un mur se comporte donc comme une lame transparente pour les ondes électriques ; une surface métallique les réfléchit à la manière d'un miroir. On peut reproduire, avec ces ondes, les principaux phénomènes de l'Optique.

Mais, pour toutes ces expériences, l'observation individuelle est nécessaire. MM. Joubert et de Nerville se tiendront à la disposition des Membres de la Société les vendredi 24 et 31 mai, à 8 heures du soir, au laboratoire central d'Électricité, place Saint-Charles.

Note sur le Médimarémètre, *nouvel appareil pour la détermination du niveau moyen de la mer;* par M. Ch. Lallemand.

1. *Exposé préliminaire.* — Sous la triple action du Soleil, de la Lune et de la pesanteur terrestre, les eaux de la mer tendent vers un état d'équilibre qui est perpétuellement troublé : 1° par le mouvement *diurne* de rotation de notre globe sur lui-même; 2° par le mouvement *mensuel* de translation de la Lune autour de la Terre; 3° par le mouvement *annuel* de translation de la Terre autour du Soleil; 4° par les *variations lentes* des éléments des orbites lunaire et terrestre.

De là, autant d'oscillations élémentaires sur lesquelles viennent se greffer les courants produits soit par les différences de salure ou de température de l'eau dans les divers océans, soit par l'action des vents ou par les inégalités de la pression barométrique.

Au milieu de tous ces mouvements, dont nous observons seulement la résultante, *le niveau moyen en un lieu et pour une période donnés correspond à la moyenne des hauteurs de l'eau par rapport à un point fixe, relevées en ce lieu à chaque instant de la période considérée.*

Il y a intérêt à déterminer le niveau moyen de la mer dans le plus grand nombre possible de points le long des côtes et à rattacher ensuite les résultats au réseau général des nivellements continentaux, de manière à constituer une sorte de *nivellement littoral des mers.*

En premier lieu, connaissant les hauteurs relatives des différentes mers pour des stations convenablement choisies, on en déduira des indications utiles sur la direction et la vitesse des courants marins : questions d'un haut intérêt pour la Météorologie, pour la Navigation et pour les Travaux maritimes.

Ensuite la variation, avec le temps, du niveau moyen dans chaque station décèlera les mouvements relatifs du sol et des eaux dans le cours des années : problème fondamental pour la Géologie et pour la Physique terrestre.

Enfin, la connaissance du niveau moyen le long des côtes permettra de fixer la *surface de niveau de comparaison* qui doit être, à la fois, l'*horizon fondamental* des nivellements, la *base*

de toutes les opérations géodésiques et, partant, la véritable expression de la *figure moyenne actuelle* de la Terre. En raison de la prépondérance considérable des océans sur les terres, la *surface de comparaison* doit, en effet, s'écarter de la *surface moyenne* des mers (1).

2. *Procédés anciens pour la détermination du niveau moyen de la mer.* — Pour déterminer le niveau moyen de la mer, on s'est d'abord contenté de prendre la moyenne de lectures faites directement sur une *échelle de port* à des intervalles réguliers.

A cette méthode pénible et incertaine, on a substitué plus tard des appareils enregistreurs du mouvement de l'eau : les *marégraphes*. La cote du niveau moyen est alors donnée par la hauteur du rectangle d'aire équivalente à celle du diagramme tracé par l'appareil. Malgré l'emploi du planimètre, le dépouillement des courbes et le calcul des aires constituent encore une opération longue et délicate.

M. Reitz a réduit considérablement le travail avec son *marégraphe totalisateur,* qui effectue automatiquement le planimétrage des diagrammes au fur et à mesure de leur production (2).

---

(1) L'*horizon fondamental* ainsi défini ne saurait cependant constituer une base immuable et définitive.

Les surfaces de niveau et, par suite, la surface de comparaison, sont, en effet, soumises, comme les eaux de l'Océan et pour les mêmes causes, à des oscillations périodiques, les unes rapides, les autres lentes, d'amplitudes comparables à celles des ondes océaniques supposées affranchies de toutes les causes perturbatrices.

Les surfaces de niveau subissent en outre, dans une mesure, il est vrai, très atténuée, le contre-coup des modifications que l'action des météores et surtout le refroidissement progressif de notre globe produisent, avec le temps, dans les hauteurs relatives des terres et des eaux.

Pendant que l'écorce solide se contracte et s'affaisse, le volume des océans augmente d'une part (et par suite leur niveau monte) en raison de la condensation progressive de l'eau contenue à l'état de vapeur dans l'atmosphère; d'autre part, la masse liquide diminue de toute l'eau perdue par les infiltrations ou par l'imbibition des roches solidifiées et refroidies.

Mais, heureusement, ces modifications n'exercent qu'une influence très lente sur la forme et sur la position de la surface de niveau de comparaison.

(2) Le dispositif totalisateur, analogue au système introduit par le général Morin dans ses dynamomètres, se compose d'une roulette en agate, portée par un chariot relié à la pointe qui trace le diagramme. Cette roulette s'appuie sur un disque de verre poli, tournant avec le cylindre enregistreur. Son axe est parallèle à la

Mais l'appareil est d'un prix très élevé; il exige en outre une installation dispendieuse.

Pour pouvoir multiplier autant qu'il est nécessaire les postes d'observation, il fallait posséder un instrument simple et peu coûteux, qui facilitât les calculs en éliminant les indications inutiles.

Chargé de l'étude de cette question par le Comité du nivellement général de la France, j'ai réussi à établir un appareil remplissant ces conditions. Cet appareil, qui porte le nom de *médimarémètre,* est basé sur le fait suivant, que la théorie explique (*voir* ci-après n° 5), et dont expérimentalement j'ai pu vérifier l'exactitude.

3. *Principe fondamental du médimarémètre. — Considérons un tube vertical étanche, fermé à sa base par une cloison poreuse et plongé dans une nappe d'eau dont la surface est animée d'un mouvement vertical périodique : les oscillations du liquide se reproduisent à l'intérieur du tube avec la* même période *et le* même niveau moyen *qu'à l'extérieur, mais avec une* amplitude réduite *et un* retard dans les phases.

---

translation du chariot, et se trouve dans le plan vertical contenant l'axe du disque.

Pendant un instant dt, l'arc décrit par un point de la circonférence de la roulette, et par conséquent l'angle dont celle-ci tourne, est simultanément proportionnel à deux quantités qui sont :

1° L'angle infiniment petit de la rotation du disque, angle proportionnel au *temps* dt;

2° La distance de la roulette au centre du disque à l'instant considéré, distance égale, par construction, à l'*ordonnée* y du diagramme au même moment.

L'angle infiniment petit de rotation de la roulette est donc proportionnel à $y\,dt$, c'est-à-dire à l'aire élémentaire comprise entre les deux ordonnées infiniment voisines qui limitent la portion correspondante du diagramme; par suite, le nombre N de tours et fractions de tour de la roulette, pendant un temps t, est en raison directe de l'aire correspondante $\int_0^t y\,dt$ du diagramme.

Pour avoir le niveau moyen, il suffit de diviser le nombre N, indiqué sur le compteur de tours de la roulette, par le nombre n lu sur le compteur de tours du disque, qui est en même temps le *compteur du temps* exprimé en jours solaires moyens et fractions décimales de jour.

Un de ces appareils a été installé, en 1885, dans l'anse du port Calvo, à Marseille, par la Commission du nivellement général de la France. Il en existe également un dans le port de Cadix, et un autre dans l'île d'Helgoland, près de l'embouchure de l'Elbe.

Cette réduction et ce retard sont d'autant plus marqués :

1° Que la cloison est moins poreuse, ou sa surface plus petite comparativement à la section libre du tube;

2° Que la période des oscillations est plus courte.

Si le mouvement de la nappe liquide, au lieu d'être un mouvement simple, résulte, comme c'est le cas pour la mer, d'une superposition de mouvements ondulatoires ayant des amplitudes et des périodes diverses, la cloison agit sur chacune des ondes composantes exactement comme si cette onde était seule. En d'autres termes, les oscillations rapides sont presque totalement arrêtées par la cloison, tandis que les ondes très lentes la traversent sans réduction sensible dans leur amplitude.

Mais, dans tous les cas, le *niveau moyen dans le tube étant le même qu'au dehors,* on est autorisé, pour la recherche de ce niveau, à substituer au diagramme complexe des oscillations de la nappe le relevé des variations beaucoup plus lentes du niveau intérieur, ce qui simplifie considérablement le travail tout en augmentant la précision du résultat (1).

4. *Description et emploi du médimarémètre.* — L'appareil, représenté *fig.* 1, se compose d'un *tube* étanche S que l'on fixe verticalement dans un puits communiquant avec la mer ou contre un mur de quai. Ce tube est en relation, par un tuyau B, avec un *plongeur* Q immergé au-dessous du niveau des plus basses mers.

Ce plongeur est divisé en deux parties par une cloison poreuse V en porcelaine dégourdie. Le compartiment extérieur est rempli de sable, et son enveloppe percée latéralement de trous pour l'accès de l'eau. La surface poreuse est réglée de manière que la marée journalière dans le tube soit réduite à une oscillation insignifiante. Une observation par jour suffit, dès lors, pour déterminer la variation lente du niveau intérieur avec le temps.

L'observation se fait au moyen d'une *sonde* (*fig.* 2) portant

---

(1) Nous avons établi d'après les mêmes principes un *méditherm omètre* qui amortit l'effet des variations diurnes de la température et donne seulement les variations lentes, liées aux saisons ou à la direction des courants atmosphériques.

une division dilatée de manière à corriger la surélévation de niveau produite par l'introduction même de la sonde dans le

MÉDIMAREMÈTRE (¹).

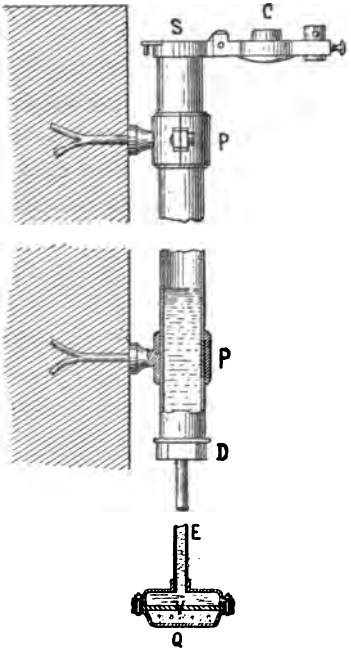


Fig. 1. (Échelle $\frac{1}{5}$.)

S, tube en cuivre (diamètre intérieur $0^m,025$); la base D est placée à $0^m,40$ environ au-dessous du niveau moyen présumé de la mer; le sommet émerge au-dessus des plus hautes eaux;

C, couvercle servant à fermer l'orifice supérieur, pour empêcher l'introduction intempestive d'eau ou la chute de corps étrangers dans le tube;

P, P', P", colliers à griffes scellées dans la maçonnerie;

Q, plongeur divisé en deux parties par une cloison poreuse V en porcelaine dégourdie;

B, tuyau reliant le plongeur au tube S;

R, rivet en bronze (fixé sur la margelle du puits ou sur le couronnement du mur) servant de repère pour contrôler la fixité de l'appareil.

liquide. On fixe latéralement sur cette sonde une bande de papier sensibilisé au sulfate de fer et à la noix de galle. On descend cette

(¹) Ce cliché et les suivants sont extraits du *Traité de nivellement de haute précision*, publié dans l'*Encyclopédie des Travaux publics*, par M. Ch. Lallemand. Paris, librairie Baudry.

sonde à fond dans le tube jusqu'à ce qu'elle vienne buter contre la base D (*fig.* 1), et on la remonte une ou deux secondes après. La partie mouillée du papier devient noire, ce qui permet de lire facilement la cote de l'eau.

On rapproche les bandes successives, en alignant, comme le montre la *fig.* 3, les points de repère marqués par un poinçon *c* (*fig.* 2) fixé à la sonde; on constitue ainsi un diagramme que l'on réduit à l'échelle de $\frac{1}{10}$, par exemple, et qu'il suffit ensuite de *planimétrer* pour en déduire le *niveau moyen mensuel* ou *le niveau moyen annuel.*

Le *niveau moyen depuis l'origine,* c'est-à-dire le niveau correspondant à la moyenne de toutes les hauteurs relevées depuis la mise de l'appareil en fonction, s'obtient ensuite en calculant la hauteur du rectangle équivalent au diagramme complet et en mesurant cette hauteur avec une échelle dilatée comme celle de la sonde.

Le diagramme ci-après (*fig.* 4), relatif au médimarémètre en fonction depuis trois ans dans le port de Marseille, montre que le *niveau moyen depuis l'origine,* calculé à la fin de chaque mois d'après les indications du médimarémètre, concorde parfaitement avec celui donné par le *marégraphe totalisateur* établi dans le même poste (*voir* p. 99, note 2).

Les bons résultats obtenus à Marseille ont déterminé le Comité du nivellement général de la France

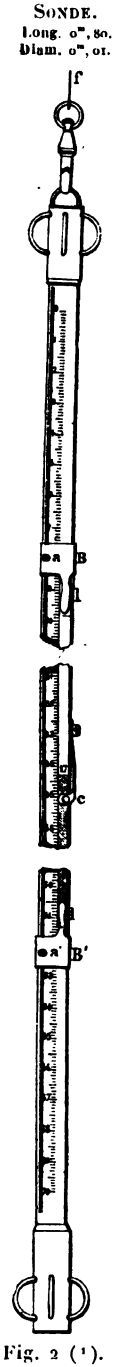


Fig. 2 (1).

(1) *Légende de la fig.* 2.

B, B', bagues mobiles, avec languettes *l*, *l'* formant ressorts, employées à maintenir le papier sensible;

a, *a'*, vis engagées dans une rainure longitudinale, destinées à fixer les bagues B, B', tout en leur laissant la possibilité de glisser à frottement dur le long du tube, sans tourner;

c, poinçon emporte-pièce fixé invariablement sur le tube de la sonde. Il sert à percer dans la bande de papier une fois en place un trou servant de repère;

d, *d*, ailettes servant à guider verticalement la sonde dans son mouvement de descente;

f, fil de suspension de la sonde.

Fig. 3.

MÉDIMARÉMÈTRE DE MARSEILLE. VARIATION DU NIVEAU MOYEN DIURNE.

(*Diagramme obtenu par le rapprochement des bandes impressionnées.*)

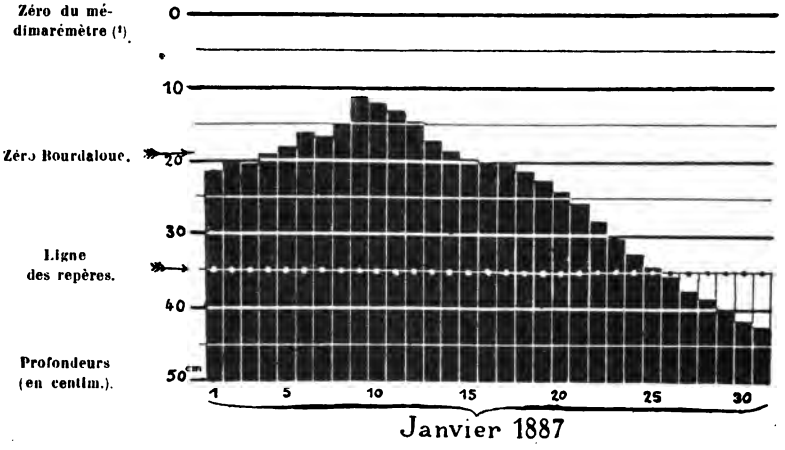
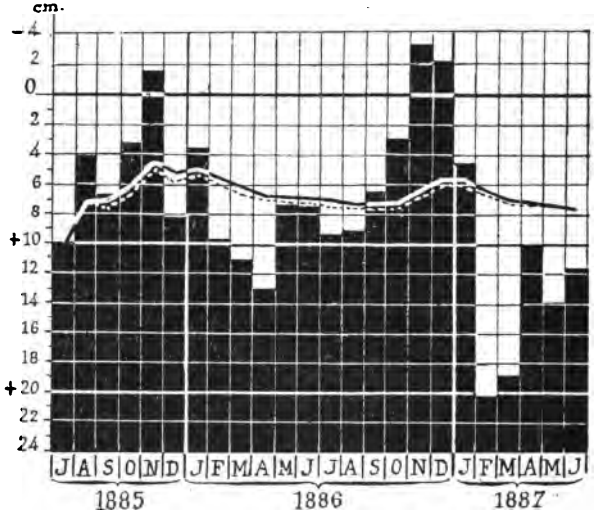


Fig. 4.

MÉDIMARÉMÈTRE DE MARSEILLE (2).

1° Variation mensuelle du niveau moyen, teinte noire en échelons.
2° Variation du niveau moyen calculé depuis l'origine.
a. A l'aide du médimarémètre, trait plein.
b. A l'aide du marégraphe totalisateur, trait plein discontinu.



(1) Dans le médimarémètre de Marseille, le premier qui ait été construit, le zéro de l'échelle se trouve à l'extrémité supérieure de la sonde.

(2) Sur ce diagramme, les hauteurs sont rapportées à la surface de com-

à faire installer des médimarémètres en de nombreux points du littoral de la France; notamment à Nice, Cette et Port-Vendres dans la Méditerranée, Saint-Jean-de-Luz, Biarritz, les Sables d'Olonne, Quiberon, Le Camaret (goulet de Brest) dans l'Atlantique, et Boulogne dans la Manche. Le Service géographique de l'Armée en a, de son côté, fait installer deux autres à la Goulette (Tunisie) et à Bône (Algérie).

Enfin, l'Institut géographique militaire italien en a fait placer deux dans l'île d'Ischia (baie de Naples).

5. *Théorie analytique du médimarémètre* (¹). — Soient H, à l'instant t, la hauteur de la nappe extérieure au-dessus d'un niveau fixe de comparaison, et H_m la cote du niveau moyen; A, l'*amplitude* et T la *période* de l'une des ondes élémentaires constituant le mouvement périodique composé de la mer. Ce mouvement est représenté par l'équation

$$H = H_m + \sum A \sin 2\pi \frac{t+\theta}{T}. \tag{1}$$

Soient maintenant h_0 et h les hauteurs du liquide dans le tube, respectivement à l'origine du temps et à l'instant t. D'après les lois de Darcy pour la filtration des liquides à travers les corps poreux, le *débit* $\left(\frac{dh}{dt}\right)$ *est proportionnel à la charge* $(H - h)$; ce qui conduit à écrire l'équation différentielle suivante

$$h + \rho \frac{dh}{dt} = H = H_m + \sum A \sin 2\pi \frac{t+\theta}{T}, \tag{2}$$

θ désignant une constante et ρ le *module d'amortissement*, c'est-à-dire un coefficient variable avec la section du tube et avec les dimensions et la porosité de la cloison.

---

paraison du nouveau nivellement général de la France ($0^m,07$ au-dessous du zéro Bourdaloué). Les moyennes ont été prises par mois lunaires, de manière à éliminer l'influence de l'onde semi-mensuelle, et à ne laisser apparaître que les mouvements à longue période. La figure montre, par exemple, une onde annuelle très nette, déterminée sans doute par le régime des vents et de la pression barométrique dans le bassin méditerranéen.

(¹) Pour la théorie complète du médimarémètre, *voir* le *Traité de nivellement de haute précision* de M. Ch. Lallemand.

ρ étant supposé constant, l'intégrale générale de l'équation (2) est

$$(3) \qquad h = H_m + Ke^{-\frac{t}{\rho}} + \sum a \sin 2\pi \frac{t+\theta-\tau}{T}$$

avec

$$(4) \quad a = rA, \qquad \tau = \frac{2\pi}{T} \operatorname{arc\,cos} r, \qquad k = \left(h_0 - H_m - \Sigma a \sin 2\pi \frac{\theta-\tau}{T}\right)$$

et

$$(5) \qquad r = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{4\pi^2\rho^2}{T^2}}}.$$

Comparé au mouvement de la nappe extérieure traduit par l'équation (1), le mouvement interne défini par l'équation (2) est formé d'ondes élémentaires, ayant les mêmes périodes T, mais avec des amplitudes a réduites et des phases retardées de quantités τ. Pour une onde déterminée, le coefficient r de réduction de l'amplitude est d'autant plus petit et le retard τ d'autant plus grand que la période T de cette onde est plus courte.

Ces oscillations se greffent sur un mouvement exponentiel d'exhaussement (ou d'abaissement suivant le cas), représenté par le terme $ke^{-\frac{t}{\rho}}$; ce mouvement vient s'éteindre plus ou moins vite à la hauteur du niveau moyen, et son influence perturbatrice est à peu près nulle si l'on néglige, pour le calcul du niveau moyen, le premier mois de fonctionnement de l'appareil.

Le niveau moyen à l'intérieur du tube, pour la période allant depuis l'origine jusqu'à l'instant t, a pour cote

$$z = \frac{1}{t}\int_0^t h\,dt = H_m + \frac{k}{\rho}\,\frac{1-e^{-\frac{t}{\rho}}}{t} + \frac{1}{2\pi t}\Sigma a T\left[\cos 2\pi\frac{\theta-\tau}{T} - \cos 2\pi\frac{(t+\theta-\tau)}{T}\right].$$

Cette équation représente une superposition de sinusoïdes *évanouissantes* (c'est-à-dire dont les amplitudes décroissent progressivement jusqu'à zéro) ayant pour ligne moyenne une courbe asymptotique à l'horizontale ($z = H_m$) représentative du niveau

moyen. L'écart $(z - H_m)$ entre le niveau moyen calculé et le niveau moyen vrai diminue indéfiniment avec le temps.

Un calcul analogue montrerait que ces conclusions subsistent encore quand la porosité de la cloison diminue régulièrement avec le temps et que, par conséquent, le module ρ d'amortissement croît par l'effet des végétations cryptogamiques se développant sur la paroi filtrante, ou bien à cause de l'invasion des pores par des animalcules marins.

SÉANCE DU 7 JUIN 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Dierman (William), Ingénieur électricien, Ingénieur civil à Paris.

M. le Président annonce à la Société la perte douloureuse qu'elle vient de faire en la personne de M. *Gaston Planté*. Il rappelle ses remarquables recherches sur la polarisation galvanique, qui l'ont conduit à l'invention des *accumulateurs* à lame de plomb. Cette belle découverte, origine d'une branche importante de l'industrie électrique, a valu à M. Planté une célébrité qu'il n'avait pas cherchée.

On lui doit aussi, entre autres, la *machine rhéostatique*, qui permet avec les accumulateurs de répéter les expériences de l'électricité statique.

Sa santé extrêmement délicate l'a empêché depuis longtemps d'assister à nos séances; mais ceux de nous qui l'ont connu savent avec quelle modestie il parlait de ses propres expériences et avec quel enthousiasme il accueillait les découvertes des autres. La Société se fait un devoir d'adresser à la famille de M. Planté l'expression de ses plus vifs regrets et de sa profonde sympathie.

M. le Président remercie, au nom de la Société, M. Joubert qui a bien voulu lui consacrer deux soirées pour la répétition des expériences de M. Hertz. Il exprime le désir de voir répéter aussi au Laboratoire central d'Electricité les expériences faites en Angleterre par M. Lodge, et qui paraissent devoir modifier d'une manière notable les idées consacrées sur les paratonnerres. M. le Secrétaire général s'y prêtera d'autant plus volontiers qu'il paraît y avoir quelque relation entre ces expériences et celles de M. Hertz.

M. le Président annonce que la Société a reçu de M. *Ad. Guébhard* une somme de dix mille francs destinée à l'accroissement et à l'entretien de la bibliothèque. On se rappelle que M. Guébhard, il y a un peu plus d'un an, avait abandonné généreusement à la Société son traitement d'agrégé à la Faculté de Médecine pour la durée de son exercice. M. Guébhard, ayant cru devoir résigner ses fonctions avant le terme légal, a bien voulu ne pas se croire dégagé envers la Société et vient d'ajouter aux sommes déjà versées le complément nécessaire pour en porter le montant à dix mille francs. Le Conseil a décidé qu'un compte spécial serait ouvert pour l'emploi de cette somme dans le but indiqué par le donateur.

Des remerciements seront adressés à M. Guébhard au nom de la Société.

M. le Secrétaire général annonce que l'une des prochaines séances de la Société aura lieu à l'Exposition (Section américaine) pour la répétition d'un grand nombre d'expériences qu'il serait trop difficile de transporter du siège de la Société. Un avis et des cartes spéciales seront envoyés aux sociétaires.

M. le Secrétaire général signale parmi les pièces de la Correspondance l'envoi des Notes suivantes :

1° M. Oumoff. *Le thermopotentiel des dissolutions salines;*

2° M. le Dr Pasquier. *Sur une application de l'électrolyse à la Chirurgie* (*électrolyse linéaire des rétrécissements de l'urètre*).

M. Couette rappelle que, dans sa Communication du 1er mars, il a distingué deux régimes différents dans les mouvements des liquides et montré la conformité du premier aux intégrales les plus simples des équations de Navier. Il pense que le second régime est représenté par des intégrales différentes des mêmes équations différentielles.

Il montre que cette manière de voir, qui n'introduit pas d'hypothèse nouvelle, peut rendre compte des lois expérimentales trouvées par les hydrauliciens dans les tuyaux de conduite et par lui-même dans des tubes de 2^{mm} à 6^{mm} de diamètre. Ces lois sont les suivantes :

1° *La perte de charge par unité de longueur est* très exactement *une fonction du second degré du débit*

$$i = aq + bq^2;$$

2° *Les coefficients a et b sont* à peu près *en raison inverse, a de la quatrième puissance et b de la cinquième puissance du rayon du tuyau.*

Pour déduire théoriquement ces lois des équations de Navier, M. Couette a emprunté à M. Helmholtz l'idée des mouvements semblables; mais il l'a développée d'une manière différente. Quand le mouvement d'un fluide incompressible satisfait à certaines conditions analytiques assez compliquées, que M. Couette indique, les équations de Navier sont encore satisfaites si on multiplie toutes les dimensions linéaires par un même facteur

h, et toutes les composantes des vitesses par un même facteur k, h et k étant des nombres quelconques; et alors, pourvu que le mouvement soit réellement permanent ou bien périodiquement varié et moyennement permanent, la différence de charge C, réelle ou moyenne, entre deux points respectivement homologues de deux points fixes quelconques, a une expression de la forme

$$C = A\frac{k}{h} + Bk^2, \tag{1}$$

A, B étant constants dans une même série de mouvements semblables. Supposons que ces conditions soient réalisées dans deux tuyaux; soient i_0 et i les pertes de charge par unité de longueur; q_0 et q les débits; R_0 et R les rayons; l_0 la distance de deux points quelconques pris sur l'axe du premier tuyau; l la distance de deux points homologues dans le second; on a

$$h = \frac{R}{R_0} = \frac{l}{l_0}, \qquad k = \frac{q}{\pi R^2} : \frac{q_0}{\pi R_0^2}, \qquad C = li,$$

et, en combinant ces relations avec l'équation (1), on trouve

$$i = \frac{A R_0^4}{l_0 q_0}\frac{q}{R^4} + \frac{B R_0^5}{l_0 q_0^2}\frac{q^2}{R^5},$$

formule conforme aux lois expérimentales.

M. Cornu expose brièvement les conditions expérimentales à réaliser pour l'étude des phénomènes de la réflexion vitreuse et elliptique; il décrit les appareils qu'il a employés pour effectuer la détermination des éléments de la vibration elliptique produite par la réflexion du faisceau incident polarisé rectilignement. Ces appareils sont au fond ceux de de Senarmont et de Jamin.

Les expériences de M. Cornu ont été faites en vue d'étudier l'influence de la réfrangibilité de la lumière incidente; elles ont montré d'abord que, contrairement à l'opinion généralement admise depuis Cauchy et Jamin, le *coefficient d'ellipticité* n'est pas une constante spécifique de la substance réfléchissante, mais une fonction de la longueur d'onde. Conformément à la théorie de M. Potier, l'auteur a reconnu que ce coefficient variait sensiblement en raison inverse de la longueur d'onde.

Les déterminations faites avec les radiations visibles ont été faites suivant la méthode de Jamin, mais en remplaçant le compensateur de Babinet par celui de Bravais, nommé quelquefois *compensateur à teintes plates*, parce qu'il donne dans la lumière parallèle une teinte uniforme. Dans le cas présent, comme le champ de la lunette du goniomètre est assez étendu angulairement, la lumière doit être considérée comme convergente et l'apparence au foyer est celle des hyperboles de Muller ou de Delezenne. Le jeu du compensateur permet de déformer les hyperboles jusqu'à les

faire coïncider avec leurs asymptotes, ce qui produit une *frange cruciforme :* la rotation convenable de l'analyseur donne à cette frange le maximum de noirceur au centre. On détermine ainsi par un double tâtonnement la *phase* et l'*azimut* de polarisation rétablie, c'est-à-dire les deux caractéristiques de l'ellipse. On opère successivement avec la lumière rouge qui traverse l'ensemble d'un verre rouge et d'un verre bleu cobalt (ce qui produit une radiation de longueur d'onde égale à 700-7200) et avec la lumière bleue tamisée par une cuve de bleu céleste (sulfate de cuivre ammoniacal) : $\lambda = 440$.

Pour étendre encore davantage les limites de réfrangibilité, M. Cornu a employé les radiations ultra-violettes et opéré par la Photographie.

La source de radiation la plus commode est la raie quadruple du magnésium (électrodes de métal, étincelle condensée); elle fournit un faisceau suffisamment monochromatique et est tellement intense qu'elle éclipse toutes les autres radiations ultra-violettes du spectre de ce métal; le goniomètre employé est formé de lentilles en spath fluor; les polariseur et analyseur sont des rhomboïdes de spath d'Islande dont on n'utilise que l'image ordinaire. La fente du collimateur, éclairée à l'aide d'une lentille collectrice par l'étincelle précitée, produit son image au foyer de la lunette sur un compensateur de Babinet, dont les franges (invisibles) sont transportées par une lentille à court foyer dans le plan d'une glace sensibilisée. Une croisée de traits au diamant tracée sur la surface du compensateur permet de mesurer *sans tâtonnement* le déplacement des franges, c'est-à-dire la différence de phase des deux composantes vibratoires réfléchies; la rotation de l'analyseur donne aux franges ainsi photographiées le maximum d'éclat.

L'observation se fait méthodiquement en prenant sur la même plaque une série de clichés (à l'aide d'un porte-plaques à coulisse) correspondant à des azimuts de l'analyseur en progression arithmétique : on obtient donc aisément les deux caractéristiques de la vibration ultra-violette réfléchie.

M. Cornu, avec le concours de M Pellin, projette, sous les yeux de la Société, les franges des deux compensateurs précités, le déplacement des franges par une lame de mica et, finalement, une série de clichés photographiques représentant la marche des franges du faisceau réfléchi par un cristal de *blende*.

Le résumé de ces recherches est le suivant :

1° *Le coefficient d'ellipticité des substances vitreuses croît avec la réfrangibilité de la lumière réfléchie;*

2° *Il y a transition continue entre les phénomènes de la réflexion vitreuse et ceux de la réflexion métallique.*

Ce ne sont donc pas deux classes de phénomènes distincts : l'argent, avec son maximum de transparence pour la radiation ultra-violette $\lambda = 319$, apporte une preuve nouvelle de cette continuité; car la loi des phases avec

l'incidence qu'il présente pour cette radiation est très voisine de celle des corps transparents. C'est l'inverse de ce qu'on observe avec les corps vitreux qui, pour des radiations très réfrangibles, se rapprochent de plus en plus des corps métalliques.

M. D'ARSONVAL met sous les yeux de la Société une nouvelle étuve auto-régulatrice qui présente les modifications suivantes : 1° elle est entièrement métallique et ne comporte aucune pièce pouvant se détériorer par la chaleur; 2° elle s'ouvre latéralement par une porte transparente, ce qui double au moins l'espace disponible pour un même cube, et permet de voir ce qui se passe à l'intérieur; 3° le chauffage s'effectue par des cheminées intérieures, traversant un matelas liquide dans toute sa hauteur. Cette disposition a l'avantage d'utiliser tout le calorique, d'empêcher le jeu du fond sous l'action directe de la flamme et l'encrassement de ce même fond par les produits de combustion; 4° le régulateur, entièrement métallique, porte directement les brûleurs sans aucun intermédiaire pouvant s'enflammer ou laisser fuir le gaz, comme cela a lieu avec tous les tubes en caoutchouc; 5° pour maintenir une température plus basse que la température ambiante pendant les chaleurs de l'été, il existe un tube contournant les deux corps de l'étuve dans lequel on fait passer un courant d'eau continu, provenant de la ville, dont la température ne dépasse pas 15° à 20° par les plus fortes chaleurs; ce courant d'eau refroidit au-dessous de 25° la température, que l'on ramène au point voulu avec un seul brûleur.

Sur la polarisation elliptique par réflexion vitreuse et métallique. — Extension des méthodes d'observation aux radiations ultra-violettes. — Continuité existant entre ces deux genres de phénomènes;

Par M. A. CORNU.

On sait, depuis Fresnel, Brewster, Cauchy, de Senarmont, Jamin, qu'un faisceau de lumière polarisée rectilignement ne se réfléchit, en conservant une polarisation rigoureusement rectiligne, que dans le cas où la vibration incidente est parallèle ou perpendiculaire au plan d'incidence. Dans le cas général où la vibration incidente est oblique sur ce plan, la vibration réfléchie est elliptique. Ce phénomène, visible sous toutes les incidences avec les métaux, n'est appréciable avec les corps vitreux qu'aux environs de l'incidence brewstérienne.

Tout se passe comme si la vibration rectiligne du faisceau incident se dédoublait en deux composantes, l'une parallèle, l'autre perpendiculaire au plan d'incidence, en donnant naissance à deux faisceaux réfléchis, polarisés rectilignement. Ces deux faisceaux pénétreraient en quelque sorte dans la surface réfléchissante à des profondeurs différentes suivant l'orientation vibratoire, la vibration parallèle au plan d'incidence correspondant le plus souvent au plus grand chemin parcouru : de là une différence de marche entre les deux faisceaux partiels, une différence de phase entre leurs oscillations et la production d'une vibration elliptique dans le faisceau réfléchi, résultant de leur superposition.

Cette différence de marche, nulle par symétrie pour l'incidence normale ($i = 0$), croît graduellement, suivant des lois diverses selon les substances réfléchissantes, jusqu'à une demi-longueur d'onde à l'incidence rasante ($i = 90$), valeur qui est une conséquence nécessaire des conditions mécaniques de la réflexion des ondes.

C'est l'étude expérimentale de la loi de variation de cette différence de phase avec l'incidence qui fait l'objet du présent travail. Cette étude se distingue des travaux analogues de de Senarmont, Jamin et de divers observateurs par l'extension considérable donnée aux limites de réfrangibilité entre lesquelles les observations ont été effectuées. Grâce à l'emploi de radiations comprises depuis l'extrême rouge ($\lambda = 700$) jusqu'à l'ultra-violet ($\lambda = 230$), je suis parvenu, en dehors de la confirmation des résultats déjà connus, à des conclusions nouvelles qui me paraissent de nature à modifier les idées généralement admises sur la théorie de ces phénomènes.

Appareils et méthodes d'observation. — Avant de présenter les données numériques et la conclusion générale qui en ressort, il est utile de décrire succinctement les appareils et les méthodes d'observation.

Les appareils employés sont très analogues à ceux de de Senarmont et Jamin : leur construction diffère un peu, suivant qu'ils servent à l'observation des radiations visibles ou ultra-violettes; mais les modes d'observation ont été notablement modifiés ou perfectionnés.

Tous deux sont des goniomètres de Babinet, munis d'un collimateur et

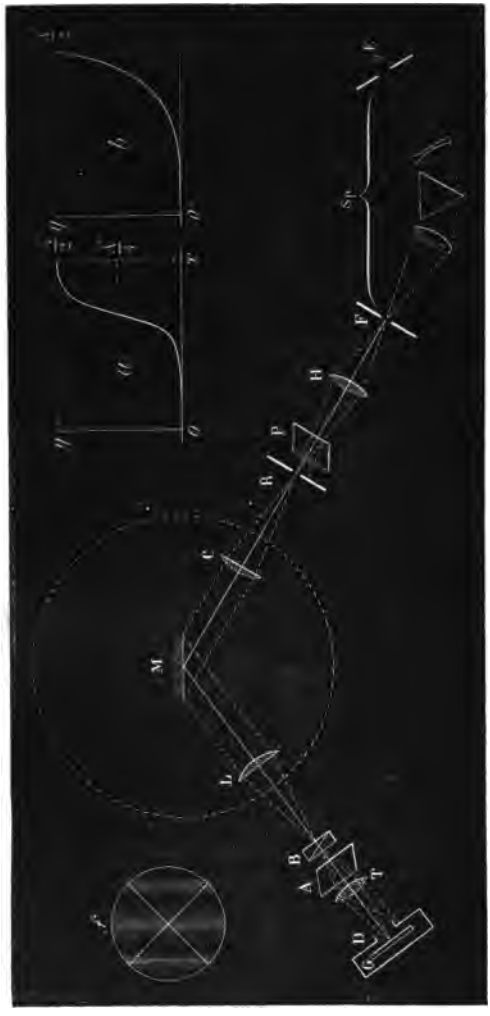
d'une lunette dont les objectifs sont des lentilles simples très minces; près des foyers de ces lentilles se trouvent le polariseur et l'analyseur; sur le trajet des faisceaux est un compensateur de Bravais ou de Babinet servant à la mesure des phases. Telles sont les dispositions communes aux deux appareils. Voici maintenant les particularités qui les distinguent suivant la nature des radiations à observer.

Radiations visibles. — La mesure des phases est opérée avec un compensateur de Bravais à teintes plates, dont les diverses parties sont rectifiables, placé en avant de l'objectif de la lunette. Le champ de vision présente, outre les réticules qu'on fait coïncider, non pas une teinte plate, mais deux franges courbes opposant leur convexité : ce sont les sommets des *hyperboles* dites *de Muller*. La manœuvre du biseau mobile du compensateur écarte, rapproche ces deux franges ou les transforme en deux autres franges, sommets de l'hyperbole conjuguée; pour une position intermédiaire du biseau, les deux hyperboles se rejoignent et se confondent en une croix représentant leurs asymptotes communes. Avec une lumière monochromatique, l'obtention de cette croix est le caractère de l'exacte compensation du faisceau elliptique central et de la restauration de la polarisation rectiligne; la manœuvre de l'analyseur permet de donner au centre de cette frange cruciforme le maximum d'assombrissement et de définir alors l'azimut de polarisation rétablie. On retrouve, en définitive, sous une autre forme que dans les expériences de Jamin, la double opération nécessaire pour déterminer simultanément la phase et l'azimut de restauration rectiligne.

Radiations ultra-violettes. — Dans le second appareil (*fig.* 1) les lentilles C, L, au lieu d'être en crown-glass, comme dans le précédent, sont en spath fluor incolore de Suisse, dont la transparence actinique est parfaite : le polariseur P et l'analyseur A sont des rhomboïdes de spath d'Islande, dont on utilise le rayon ordinaire en rejetant le rayon extraordinaire en dehors de l'ouverture des diaphragmes R et D. L'observation pourrait se faire comme avec les radiations visibles à l'aide d'un oculaire fluorescent si les faisceaux réfléchis possédaient une intensité suffisante; malheureusement il n'en est pas ainsi, et l'oculaire fluorescent n'est utilisable que pour les réglages approximatifs. Il est nécessaire de recourir aux procédés photographiques qui seuls permettent d'utiliser des faisceaux d'intensité actinique aussi faible : encore se présente-t-il une difficulté pratique qui m'a arrêté pendant longtemps, à savoir la quasi-impossibilité d'effectuer la double opération décrite ci-dessus. On conçoit en effet que, pour remplacer par des épreuves discontinues l'observation visuelle et continue du phénomène optique produit par la manœuvre simultanée du compensateur et de l'analyseur, il faudrait de ces épreuves un nombre énorme, égal au produit du nombre de toutes les positions qu'on estime devoir donner à l'analyseur par le nombre correspondant de celles du compensateur; dans cette série à double entrée, on chercherait l'épreuve dont les

franges présentent à la fois les deux caractères de forme et d'intensité signalés plus haut; et, pour chaque incidence, il faudrait recommencer une nouvelle *série double* d'épreuves.

Fig. 1.



L'observation photographique complète du phénomène a été réduite à une *série simple* d'essais méthodiques par l'artifice suivant. Au lieu du compensateur Bravais, si précieux pour les radiations visibles, j'ai adopté le compensateur à franges rectilignes de Babinet, comme Jamin; mais, au

lieu de chercher comme lui la compensation du faisceau elliptique par déplacement de l'un des biseaux de quartz, j'utilise le déplacemens même des franges. A cet effet, les deux quartz croisés du compensateur B, collés à la glycérine, sont réglés optiquement, puis fixés invariablement au foyer de la lunette L; un repère fixe, tracé sur la surface du quartz, permet de déterminer le déplacement des franges; on obtient ainsi sans tâtonnement une mesure de la différence de phase cherchée. Une lentille de spath fluor T transporte l'image amplifiée des franges et du repère sur une plaque sensible G, où elle s'imprime sous l'aspect représenté en *f*; la mesure définitive s'exécute à loisir sur le cliché, qu'on place sous le microscope d'un micromètre approprié.

Une seule épreuve suffirait à la rigueur pour obtenir la phase cherchée, car la position des franges est théoriquement indépendante de l'azimut de l'analyseur : c'est un avantage sérieux de cette méthode d'observation; mais il est préférable d'effectuer en même temps la détermination de l'azimut de polarisation rétablie; pour obtenir ce résultat, il suffit de prendre une série d'épreuves en tournant à chaque fois l'analyseur d'un angle connu. Grâce à l'emploi d'un porte-plaque mobile, semblable à celui que j'avais imaginé en 1872 pour la Commission de Vénus, on peut obtenir toutes ces épreuves sur la même plaque [1] : huit à dix suffisent généralement.

L'azimut cherché correspond au maximum de netteté des franges. Cette observation par degrés discontinus est évidemment moins précise que l'observation visuelle; mais elle se fait sans difficulté, tandis que le mode opératoire ordinaire serait impraticable.

Spectroscope éclaireur. — L'étincelle d'induction condensée, jaillissant entre deux électrodes d'un même métal, est la source la plus commode de radiations ultra-violettes très réfrangibles. On projette l'étincelle placée derrière l'ouverture F d'un écran convenable à l'aide d'une lentille collectrice H du spath fluor sur l'ouverture R du collimateur. Le magnésium est particulièrement précieux, il fournit une radiation (raie quadruple $\lambda = 280$) tellement intense qu'elle permet d'obtenir chaque épreuve en quelques secondes; une lame de glace interposée devant l'étincelle absorbe totalement cette radiation et ne laisse guère subsister que la triple raie ($\lambda = 383$) autrefois utilisée pour l'observation photographique des anneaux colorés (*Comptes rendus,* t. LXIX, p. 333).

---

[1] Le porte-plaque à coulisse est très petit, les plaques n'ayant que deux centimètres sur quatre; néanmoins, elles peuvent recevoir onze épreuves. Le collodion humide donne les épreuves les meilleures; mais les plaques à la gélatine conviennent mieux le plus souvent, moins par leur sensibilité que par la facilité qu'elles apportent, comme plaques sèches, aux opérations photographiques; l'observateur n'a à se préoccuper, ni de la dessiccation des bords de la couche sensible, ni de la longueur de la durée d'exposition.

Mais, lorsqu'on veut une grande pureté dans la réfrangibilité de la source employée, il faut isoler la radiation par un prisme à l'aide d'un dispositif S*p* qui constitue un véritable spectroscope ultra-violet (*Comptes rendus*, t. C, p. 1185). On projette alors le spectre de l'étincelle E sur un papier fluorescent percé d'une ouverture F; on peut alors choisir comme source telle raie que l'on désire. C'est ainsi que j'ai utilisé, par exemple, la double raie du calcium ($\lambda = 317$) qui correspond à R du spectre solaire, la raie 19 du zinc ($\lambda = 256$) et même la raie 23 du cadmium ($\lambda = 231$); on pourrait même aller plus loin en remplaçant par des pièces convenables de quartz les pièces de spath d'Islande, rhomboïdes et prisme, qui figurent dans l'appareil actuel.

En résumé, l'appareil et la méthode qui viennent d'être décrits permettent de réaliser, avec des radiations invisibles et facilement altérables, des déterminations que l'on considère déjà comme délicates et difficiles avec des radiations visibles : les résultats numériques obtenus dans ces conditions vont montrer que les efforts dirigés dans cette voie sont dignes d'être poursuivis.

Rappelons d'abord, en quelques mots, les caractères essentiels du phénomène à observer.

Substances vitreuses. — La loi qui caractérise la varaiation de phase avec l'incidence a été exprimée analytiquement par Cauchy et vérifiée numériquement par Jamin et divers physiciens. L'étude purement expérimentale des phénomènes m'a conduit à une loi très simple, susceptible d'une interprétation géométrique et qui représente les observations aussi bien que les formules complexes de l'illustre géomètre [1]. Des expériences nouvelles ont montré qu'elle s'étend aux radiations ultra-violettes avec les restrictions dont il sera parlé plus loin. Cette loi a été découverte en construisant la courbe dont les abscisses sont les incidences et les ordonnées les différences de marche observées. Cette courbe (courbe *a*, *fig.* 1) caractérise la *réflexion vitreuse :* elle offre un point d'inflexion à l'incidence où la différence de marche δ atteint $\frac{1}{4}$ de la longueur d'onde : elle coïncide au voisinage de ce point (qui correspond aussi sensiblement à l'incidence principale ou brewstérienne) avec la ligne $x = \mathrm{H} \tang \frac{2\pi}{\lambda}\left(\delta - \frac{\lambda}{4}\right)$ très redressée

[1] *Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 649.

lorsque l'ellipticité n'est appréciable que dans d'étroites limites d'incidence; elle s'allonge lorsque ces limites s'étendent. L'inclinaison de la tangente au point d'inflexion caractérise donc la grandeur du champ d'elliptisation de la substance et le coefficient H proportionnel au coefficient angulaire de cette tangente en est la mesure. Cauchy ayant déjà représenté cette propriété par le *coefficient d'ellipticité* ε adopté par les physiciens, je ne proposerai pas de définition nouvelle : il suffira, ce qui est facile, d'identifier l'équation de la courbe précédente avec les formules de Cauchy au voisinage de l'incidence principale δ : on trouve la relation très simple

$$H = \varepsilon \sin^3 \delta,$$

qui permet de calculer ε lorsque H est déterminé (¹).

Substances métalliques. — La loi représentant pour les métaux les différences de phase des deux composantes suivant l'incidence a été donnée par Cauchy sous une forme assez complexe : j'aurais désiré trouver, comme pour les substances vitreuses, une formule empirique simple exprimant directement la différence de phase en fonction de l'incidence, mais je n'ai pas réussi, probablement parce que le phénomène s'étend sur toute la série des incidences, au lieu d'être limité à quelques degrés. Il faut donc se contenter de la représentation graphique de cette loi (courbe *b*, *fig.* 1) qui diffère totalement de celle du cas précédent : c'est une courbe convexe vers l'axe des x, tangente à l'origine ($i = 0$) et sans point d'inflexion au voisinage de $y = \frac{1}{4}\lambda$.

Conclusion générale déduite des nouvelles expériences. — Les considérations précédentes étaient nécessaires pour bien faire comprendre le caractère des deux sortes de phénomènes : les principes (²) sur lesquels Cauchy a établi leur théorie, la forme

---

(¹) L'expression $H = \varepsilon \sin^2 P \cos P$, donnée dans la Note précitée (*Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 651), était erronée.

(²) Ainsi les formules de Cauchy pour la réflexion vitreuse sont fondées sur la considération des *rayons évanescents*, tandis que ses formules de la réflexion métallique se déduisent, sans nouvelle analyse, de celles de Fresnel, en y supposant imaginaire l'indice de réfraction et usant du mode d'interprétation que Fresnel a employé dans le cas de la réflexion totale.

des lois qui les régissent sont tellement différents que la plupart des physiciens ou géomètres sont accoutumés à les considérer comme de nature distincte.

La conclusion générale de mes expériences est, au contraire, que les deux genres de phénomènes ne sont pas essentiellement distincts et qu'une même substance peut présenter la transition de l'une à l'autre d'une manière continue, suivant la nature de la radiation réfléchie : il en résulte que les phénomènes présentés par les substances transparentes à reflets métalliques (fuchsine, couleurs d'aniline, platinocyanures, etc.), loin d'être exceptionnels, constituent seulement des formes particulières du cas général de la réflexion.

Cette conclusion n'implique pas nécessairement que les deux genres de phénomènes sont dus à une seule et même cause, agissant à divers degrés d'intensité; elle conduit toutefois à penser qu'il existe, soit dans le mécanisme de la réflexion des ondes, soit dans la constitution des surfaces réfléchissantes, quelque particularité commune à tous les cas, particularité qui n'apparaît pas dans les théories précitées, mais que l'observation fait ressortir avec évidence par cette continuité un peu inattendue entre la réflexion vitreuse et métallique.

Dans une prochaine Communication, j'aurai l'honneur de présenter à la Société les données numériques sur lesquelles repose cette conclusion.

SÉANCE DU 21 JUIN 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 juin est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Bidaux (Maurice), Pharmacien de 1re classe, à Chaville.

A propos des critiques formulées par M. Pellat *sur l'équilibre dynamique des systèmes statiquement équilibrés*, M. Arnoux croit utile de faire observer que ces critiques ne sont pas fondées, parce que leur auteur n'a envisagé qu'une partie de la question.

La variation de la vitesse angulaire d'un système rotatif quelconque ne pouvant être due qu'à des forces *extérieures*, il est facile de démontrer que, lorsque celles-ci se réduisent à un couple appliqué perpendiculairement à l'axe de rotation et ne pouvant exercer *par lui-même* aucune pression sur l'axe, des pressions latérales sont néanmoins développées dans le cas déjà spécifié où les quantités d'énergie emmagasinée ne sont pas symétriquement réparties autour de l'axe de rotation.

Considérons, en effet, un système d'axes coordonnés rectangulaires OX, OY, OZ, et supposons que l'axe de rotation du corps solide coïncide avec OZ. Soient a et b les z des appuis A et B ; X, Y, Z les composantes de la force motrice extérieure P appliquée au point m (x, y, z), dont la distance à l'axe de rotation est r. On pourra considérer le corps comme entièrement libre, pourvu qu'on applique aux points A et B pris sur l'axe deux forces $F_a(X_a, Y_a, Z_a)$ et $F_b(X_b, Y_b, Z_b)$ égales et contraires aux pressions exercées sur ces deux points à chaque instant du mouvement. Dans ces conditions, on peut appliquer à ce système de forces les équations d'équilibre connues d'un corps entièrement libre.

Pour en déduire le mouvement du corps solide et les réactions exercées aux points A et B sur les paliers, il suffit d'y introduire les dérivées en fonction du temps de la vitesse angulaire $\omega = \frac{\partial \theta}{\partial t}$ dont le système est animé, et qui est la même pour tous les points en vertu des liaisons. En tenant compte de ce que chaque point du corps décrit un cercle dont le plan est perpendiculaire à Oz, on obtient, en désignant par (x_1, y_1, z_1) les coordonnées du centre de gravité du système,

$$\left\{\begin{aligned}
&X_a + X_b + \Sigma X + \frac{\partial \omega}{\partial t}\Sigma m y_1 + \omega^2 x_1 \Sigma m = 0,\\
&Y_a + Y_b + \Sigma Y + \frac{\partial \omega}{\partial t}\Sigma m x_1 + \omega^2 y_1 \Sigma m = 0,\\
&Z_a + Z_b + \Sigma Z = 0,\\
&aX_a + bX_b + \Sigma(Zx - Xz) + \frac{\partial \omega}{\partial t}\Sigma m yz + \omega^2 \Sigma m xz = 0,\\
&aY_a + bY_b + \Sigma(Yz - Zy) - \frac{\partial \omega}{\partial t}\Sigma m xz + \omega^2 \Sigma m yz = 0,\\
&\Sigma(Xy - Yx) = \frac{\partial \omega}{\partial t}\Sigma m(x^2 + y^2) = 0.
\end{aligned}\right.$$

La première, la deuxième, la quatrième et la cinquième équation déterminent les valeurs des réactions $X_a Y_a$, $X_b Y_b$ exercées sur les appuis A et B perpendiculairement à l'axe de rotation, et la sixième équation fait connaître la loi du mouvement autour de ce dernier.

Supposons d'abord que le système considéré ne soit sollicité par aucune force motrice ou, plus généralement, par des forces motrices qui se font équilibre autour de l'axe. Dans ce cas, les composantes X, Y, Z des forces perturbatrices sont nulles, la vitesse angulaire ω est constante et l'accélé-

ration angulaire $\frac{\partial \omega}{\partial t} = 0$. Le système des équations montre alors que les pressions exercées sur l'axe seront nulles si $x_1 = 0$ et $y_1 = 0$, c'est-à-dire si le centre de gravité du système est situé sur l'axe de rotation. Ainsi un corps *statiquement* équilibré par rapport à son axe de rotation sera équilibré *dynamiquement* au point de vue des efforts centrifuges, si la vitesse angulaire est constante.

Mais il n'en est plus de même lorsque cette vitesse vient à varier, c'est-à-dire lorsqu'il y a absorption ou restitution d'énergie. Supposons, en effet, que les forces perturbatrices, qui à un moment quelconque viennent modifier la vitesse du système, se réduisent à un couple situé dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Dans ce cas, on a

$$\Sigma X = 0, \qquad \Sigma Y = 0, \qquad \Sigma Z = 0,$$
$$\Sigma(Zx - Xz) = 0, \qquad \Sigma(Yz - Zy) = 0.$$

Pour que les appuis A et B, et, par conséquent, l'axe de rotation n'éprouvent aucune pression, il faut qu'on ait

$$X_a = 0, \qquad Y_a = 0, \qquad Z_a = 0,$$
$$X_b = 0, \qquad Y_b = 0, \qquad Z_b = 0.$$

Dans ces conditions, les quatrième et cinquième équations du système donnent

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} \Sigma myz + \omega^2 \Sigma mxz = 0, \qquad -\frac{\partial \omega}{\partial t} \Sigma mxz + \omega^2 \Sigma myz = 0.$$

En éliminant $\frac{\partial \omega}{\partial t}$ entre ces deux équations, on a

$$\omega^2 [(\Sigma mxz)^2 + (\Sigma myz)^2] = 0,$$

relation qui ne peut avoir lieu, puisque ω n'est pas nul, que si l'on a séparément

$$\Sigma mxz = 0, \qquad \Sigma myz = 0.$$

Ainsi, pour qu'il n'y ait aucune réaction sur les appuis, il faut que l'axe de rotation, qui passe actuellement par le centre de gravité du système, soit en même temps un des trois axes principaux de l'*ellipsoïde d'inertie*.

Quand la matière, supposée homogène, est symétriquement répartie autour de l'axe de rotation, il est clair que cette condition est toujours réalisée. Lorsque le couple résistant ou moteur, appliqué sur l'axe d'un corps solide et homogène dans lequel cette condition n'est pas réalisée, atteint brusquement une valeur élevée, les pressions sur l'axe peuvent devenir de véritables chocs ou percussions. L'auteur tient à rappeler que les considérations précédentes sont de la plus grande importance dans la construction des parties mobiles des appareils de Physique, qui, comme celles des galvanomètres et des électrodynamomètres par exemple, sont soumises à des vitesses très variables.

M. Arnoux rappelle également que, dans le cas d'une transmission par courroie, la tension du brin conducteur ne peut jamais être supérieure à la somme des tensions des deux brins au repos, car il y a glissement de la courroie bien avant que cette limite soit atteinte. Lorsqu'une poulie est soumise à des efforts variables, il est facile d'observer que le moment fléchissant qui tend à arracher les paliers devient, en pleine marche, supérieur ou inférieur à celui qui existe au repos, selon que la partie de la poulie sur laquelle est appliqué le brin qui travaille est placée en dehors ou en dedans des paliers. Comme on a des exemples de transmissions jetées à terre dans ces deux cas, il est infiniment plus probable de penser que les accidents de ce genre sont bien dus à des variations brusques de vitesse. Il suffit d'ailleurs de se placer à côté d'une transmission, pour se convaincre que les trépidations violentes coïncident toujours avec des variations brusques de vitesse.

M. Pellat fait remarquer que les conditions pour que l'axe de rotation d'un solide ne supporte aucune pression pendant la rotation sont au nombre de deux.

Il faut d'abord que l'axe soit un axe principal d'inertie passant par le centre de gravité, puisque sans cela, même quand aucune force extérieure n'agit sur le corps, l'axe subit des pressions de la part de ses supports pendant la rotation. Il est absolument d'accord avec M. Arnoux sur ce point.

La seconde condition est que le système des forces extérieures appliquées au corps se réduise à un couple dont le plan soit perpendiculaire à l'axe de rotation.

Dans l'exemple (auquel se rapporte la critique de M. Pellat) de deux sphères pesantes, homogènes, portées à l'extrémité d'un levier horizontal de masse négligeable passant par leurs centres et suspendu par un axe de rotation passant par le centre de gravité, la première condition est remplie ; en effet, le système étant de révolution autour de la ligne des centres, il en est de même de l'ellipsoïde d'inertie et, par conséquent, tout axe de rotation perpendiculaire à l'axe de révolution est un axe principal d'inertie. Si le système des forces extérieures se réduit à un couple (suspension unifilaire, bifilaire, etc.), l'axe ne subira aucune pression horizontale, conformément à la précédente remarque de M. Pellat.

Sur l'état de la matière au voisinage du point critique, par MM. Cailletet et Colardeau. — On sait qu'en chauffant en vase clos un liquide à une température suffisante, nommée *température critique*, on voit disparaître subitement la surface terminale. Cagniard-Latour, qui réalisa le premier cette expérience sur l'eau et l'éther, l'interpréta en admettant qu'à la température critique le liquide se réduit brusquement en vapeur dans l'espace qu'il occupait primivement : de là le nom de *température de vaporisation totale* souvent donné à la température critique.

Il y a lieu de se demander si les choses se passent bien ainsi et si, malgré la transformation apparente de toute la masse en gaz, l'état liquide ne per-

sisterait pas au delà de cette température. Une réponse affirmative dans ce sens est donnée par diverses expériences entreprises par MM. Cailletet et Colardeau. De ces expériences, les unes consistent à colorer par l'iode un gaz liquéfié et à analyser, soit par l'observation directe, soit à l'aide du spectroscope, les effets obtenus; les autres, à étudier les tensions de vapeur d'une quantité variable de gaz liquéfié enfermé dans un récipient clos.

Ramsay, puis Jamin avaient déjà proposé cette hypothèse de la persistance du liquide au delà du point critique, et avaient donné l'explication suivante des phénomènes observés à ce point critique :

La densité de la vapeur saturée qui existe au-dessus du liquide augmentant quand la température s'élève, tandis que celle du liquide diminue à cause de sa grande dilatation, la température critique ne serait autre que celle à laquelle ces densités deviennent égales : à ce moment-là, le liquide n'aurait plus de raison de rester rassemblé au fond du tube; il viendrait, pour ainsi dire, nager dans une atmosphère de même densité en formant une véritable émulsion : de là la disparition du ménisque terminal.

Si cette explication était vraie, une nouvelle élévation de température continuant à augmenter la densité de la vapeur et à diminuer celle du liquide, la séparation devrait se faire de nouveau ; mais le liquide se rassemblerait, cette fois, au sommet du tube.

L'expérience ne vérifie nullement cette conclusion. M. Colardeau décrit d'ailleurs plusieurs expériences qui prouvent nettement que la densité du liquide au point critique reste supérieure à celle de la vapeur saturée.

Ces divers résultats sont donc en contradiction à la fois avec l'hypothèse de Cagniard-Latour et avec celle de Jamin. MM. Cailletet et Colardeau ont donc recherché une explication plus satisfaisante. Ils arrivent à cette conclusion que la température critique est celle à laquelle un liquide et l'atmosphère gazeuse qui le surmonte deviennent solubles l'un dans l'autre en toutes proportions.

Cette solubilité réciproque des gaz et des liquides a permis aux auteurs de réaliser des systèmes mixtes formant toutes les transitions possibles entre l'état liquide et l'état gazeux de la matière, et de montrer qu'il y a continuité parfaite de l'un à l'autre.

Sur la rigidité des liquides, par Th. Schwedoff. — Lorsqu'on modifie la forme d'un corps physique, on éprouve deux genres distincts de réaction : frottement et ressort. Le premier détermine la *viscosité* du corps, le second dépend de sa *rigidité*.

On connaît bien les méthodes expérimentales qui permettent de mesurer la rigidité des solides. Quant aux liquides, on n'en a pu mesurer que la viscosité, et pour cette raison leur rigidité est réputée nulle.

M. Schwedoff décrit une méthode qui permet de déceler des traces minimes de rigidité dans les liquides. Un vase cylindrique vertical contient le liquide à étudier. Un autre vase, concentrique au premier et suspendu à un fil d'acier, plonge dans ce liquide. Deux miroirs, dont l'un est fixé au bout inférieur et l'autre au bout supérieur du fil, réfléchissent les images

d'une échelle dans une lunette de Gauss. En imprimant une torsion au fil, on imprime une rotation au vase intérieur et, par conséquent, on déforme le liquide contenu entre les parois des deux vases. Les déplacements des deux images de l'échelle, observées dans la lunette, permettent de mesurer exactement l'intensité de déformation du liquide, et la condition d'équilibre entre l'élasticité du fil et la réaction du liquide donne le moyen de déduire la valeur numérique de la rigidité du liquide.

Par ce procédé, M. Schwedoff a trouvé que l'eau distillée, contenant $\frac{1}{2}$ pour 100 de gélatine en solution, est 1 trillion 840 billions de fois moins rigide que l'acier. Pourtant la viscosité de cette solution est relativement très petite. La glycérine, dont la viscosité est incomparablement plus considérable, ne donne pas de traces appréciables de rigidité.

M. Schwedoff rattache ces résultats au phénomène de réfraction double dans les liquides déformés, phénomène découvert par Maxwell et étudié plus tard par M. Kundt et par M. de Metz. Il établit les lois de la déformation résiduelle et de la relaxation dans les liquides. La dernière loi diffère essentiellement de celle qu'avait proposée Maxwell et se rapproche de la formule empirique donnée par M. F. Kohlrausch pour les corps solides.

Sur l'état de la matière au voisinage du point critique;

Par MM. L. Cailletet et E. Colardeau.

Les premières observations ayant conduit à la notion du point critique remontent, comme on sait, à l'année 1822. A cette époque, Cagniard-Latour a montré qu'en chauffant, dans un tube scellé, de l'eau ou de l'éther à une température suffisante, on observe la disparition subite de la surface terminale du liquide. L'interprétation parut très simple à ce physicien, qui la formula immédiatement en disant que, lorsqu'un liquide, enfermé en vase clos, dépasse une certaine température, il se vaporise totalement dans l'espace qu'il occupait primitivement à l'état liquide.

Dans ses expériences classiques sur la liquéfaction et le point critique de l'acide carbonique, Andrews émet quelques doutes sur cette manière de voir; mais la discussion de l'ensemble de ses observations ne lui permet pas de donner, d'une façon positive, une interprétation plus satisfaisante, et aucune conclusion nette ne peut être tirée de son Mémoire.

Nous nous sommes demandé si les choses se passent réellement

comme le pensait Cagniard-Latour, et nous avons cherché à déterminer, par diverses expériences, si, malgré la transformation apparente de toute la masse en gaz, l'état liquide ne persisterait pas au delà de la température critique.

Nous avons, pour cela, eu recours à une matière pouvant se dissoudre dans l'acide carbonique liquéfié en le colorant. Des expériences, faites il y a quelques années par l'un de nous (¹), avaient montré que l'iode jouit de cette propriété.

Nous avons déposé, par vaporisation, une petite quantité de cette matière à la partie supérieure d'un tube à compression. Une légère couche d'acide sulfurique, placée sur le mercure, le protège et empêche la formation de l'iodure qui entraverait les expériences. Dès que le gaz liquéfié atteint le niveau de cet iode, il prend une coloration rose violacé, d'un aspect analogue à celui de l'iode en vapeurs ou dissous dans le chloroforme. En chauffant le tout au-dessus de 31°, température critique de l'acide carbonique, le ménisque disparaît avec les caractères habituels, mais la coloration persiste dans toute la région du tube occupée primitivement par le liquide. Elle ne se répartit pas dans toute la masse. Au voisinage du point où le ménisque a disparu, elle s'affaiblit graduellement sur une longueur de quelques millimètres sans atteindre la région supérieure du tube, qui reste incolore. Ceci semble indiquer que la surface seule du liquide disparaît, mais que celui-ci continue à exister au fond du tube.

On pourrait objecter, toutefois, qu'au-dessus du point critique la vapeur peut jouir de la propriété de dissoudre l'iode. Il n'en est rien, car la partie supérieure de la masse reste incolore au contact de l'iode solide adhérent au tube.

L'emploi du spectroscope confirme d'ailleurs pleinement cette conclusion. On sait, en effet, que le spectre d'absorption de l'iode dissous dans un liquide est absolument différent de celui de l'iode gazeux. Or, en suivant le phénomène, on ne trouve aucun chan-

---

(¹) Cailletet et Hautefeuille, *Changements d'état dans le voisinage du point critique* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. XCII, p. 840; 1881). Dans cette Note, l'huile bleue de galbanum est indiquée comme susceptible de colorer aussi l'acide carbonique liquide. Mais sa solubilité très imparfaite rend les effets observés incomparablement moins nets qu'avec l'iode.

gement dans le spectre au delà du point critique. Il continue à être celui que donne l'iode dissous dans un liquide.

Enfin, une série d'expériences d'un ordre tout différent apporte de nouvelles preuves à l'appui de la conclusion précédente.

Imaginons un tube de capacité donnée contenant des quantités plus ou moins grandes d'acide carbonique liquéfié. Chauffons-le graduellement jusqu'au point critique. La pression va augmenter avec la température, et le tracé graphique des résultats donnera la courbe bien connue des tensions de la vapeur saturée du gaz liquéfié. Si, au point critique, il y a vaporisation totale, c'est-à-dire disparition complète du liquide, la vapeur cesse d'être saturée à partir de ce moment : on n'a plus qu'un gaz fortement comprimé qui se dilate en vase clos ; la courbe correspondant à sa dilatation ne doit pas prolonger celle de la vapeur saturée. De plus, cette nouvelle courbe doit toujours être la même quelle que soit la quantité de liquide contenue dans le tube au moment de la vaporisation totale, puisqu'à ce moment le liquide, se réduisant en vapeur dans l'espace qu'il occupait, produit, sur toute la longueur du tube, une matière homogène jouissant toujours de toutes les propriétés d'un gaz renfermé dans le volume total sous la pression critique.

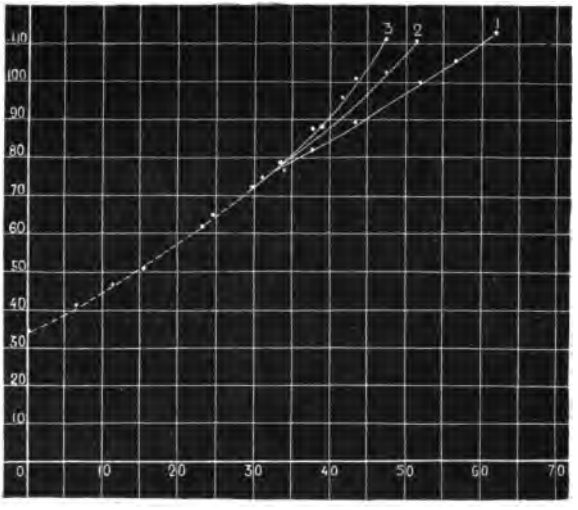
Au contraire, admettons que l'état liquide persiste. La vaporisation va se continuer au delà du point critique jusqu'à l'épuisement complet du liquide. Dans ce cas, la seconde partie de la courbe ne devra pas toujours être la même ; elle s'élèvera d'autant plus rapidement que la masse de liquide existant dans le tube au moment du point critique sera plus grande.

La *fig.* 1 montre que les choses se passent bien ainsi. Les courbes tracées et numérotées 1, 2, 3 correspondent aux cas où le liquide occupe, au moment de la disparition du ménisque, des portions de la longueur totale du tube égales à $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{9}{10}$. On voit que la seconde partie de la courbe dépend du volume du liquide comparé au volume total, tandis que la première partie reste la même dans les trois cas.

Cette hypothèse de la persistance de l'état liquide au delà de la température critique avait été proposée par Ramsay en 1880, puis reprise et développée par Jamin quelques années plus tard (1883). Voici l'explication donnée par celui-ci.

A mesure que la température s'élève, la densité de la vapeur saturée augmente continuellement, tandis que celle du liquide décroît à cause de sa grande dilatation. Il arrive un moment où ces deux densités deviennent égales. A ce moment, d'après le principe d'Archimède, la vapeur ne tend plus à occuper la partie supérieure, ni le liquide la partie inférieure : la surface de séparation cesse d'être distincte : le liquide nage dans une atmosphère de même densité en formant avec elle une véritable émulsion.

Fig. 1.



Si cette explication est conforme aux faits, la diminution de densité du liquide par la dilatation devra se continuer au delà du point critique, ainsi que l'augmentation de densité de la vapeur saturée. Il devra donc se produire, un peu après ce point critique, le renversement du phénomène, c'est-à-dire la réunion en masse du liquide à la partie supérieure du tube.

Cette seconde partie de la théorie, développée surtout par Jamin à l'occasion d'expériences faites par l'un de nous sur la liquéfaction des mélanges gazeux ([1]), a été soumise à l'épreuve;

([1]) L. Cailletet, *Compressibilité des mélanges gazeux* (*Séances de la Société de Physique*, année 1880, p. 27), et J. Jamin, *Point critique des gaz liquéfiés et des mélanges gazeux* (*Journal de Physique*, 2e série, t. II, p. 389; 1883).

mais elle n'a donné que des résultats négatifs, même en poussant les températures jusqu'à produire la rupture des tubes.

Pour rechercher une explication plus complète et plus satisfaisante, et pour confirmer en même temps la conclusion que nous avons donnée plus haut, savoir la persistance de l'état liquide au delà du point critique, nous avons entrepris une série d'expériences complémentaires en prenant pour guide un phénomène intéressant que nous avons observé sur certains mélanges liquides. En 1876, M. Duclaux a montré (1) que deux liquides qui ne se dissolvent pas réciproquement à une certaine température peuvent le faire en toutes proportions dès qu'on les échauffe à un degré convenable. Parmi ces liquides, on peut citer l'alcool amylique et l'alcool ordinaire convenablement dilué dans l'eau. Nous avons enfermé ces deux liquides dans un tube. A la température ordinaire, l'agitation ne les mélange pas intimement : elle donne un liquide trouble qui au repos se sépare bientôt en deux couches parfaitement distinctes, séparées par un ménisque très net, comme celui de l'acide carbonique liquide au-dessous du point critique. Si l'on vient à chauffer le tube, la netteté du ménisque diminue, il s'estompe, s'épaissit, puis disparaît bientôt complètement, exactement comme celui de l'acide carbonique au point critique. A ce moment-là, si l'on agite, on voit se produire les mêmes stries ondulantes décrites par Andrews pour l'acide carbonique, puis le liquide s'éclaircit, le mélange des deux éléments devient absolument limpide et homogène et reste tel à partir de là quand la température continue à s'élever.

Si l'on refroidit, les stries ondoyantes réapparaissent bientôt, le liquide se trouble et se sépare à nouveau en deux couches, exactement à la température où le ménisque s'était effacé.

En résumé, on retrouve là la reproduction parfaite de tous les effets observés au point critique des gaz liquéfiés quand on les échauffe. Le liquide inférieur joue le rôle de la portion du gaz condensée à l'état liquide, et la couche supérieure le rôle de l'atmosphère gazeuse.

Le parallélisme complet des phénomènes observés avec ces li-

---

(1) Duclaux, *Équilibre des mélanges liquides* (*Journal de Physique*, 1re série, t. V, p. 13; 1876).

quides et avec les tubes à acide carbonique liquéfié leur rend entièrement applicable l'explication donnée par Jamin et basée sur l'hypothèse de l'égalisation des densités. Notre premier soin a donc été de rechercher si, à la température où se produit la disparition de la surface de séparation des deux liquides, les densités de ceux-ci deviennent égales. L'expérience a donné un résultat entièrement négatif : le liquide inférieur conserve, à cette température et au delà, une densité notablement plus grande que celle de la couche supérieure.

L'explication de Jamin se trouve donc en défaut ici. Il faut admettre que, si la surface de séparation disparaît, ce n'est pas parce que le liquide inférieur vient nager dans le liquide supérieur de même densité, mais bien parce que l'élévation de température a communiqué à ces deux liquides la propriété de se dissoudre mutuellement, propriété qu'ils ne possédaient pas à la température ordinaire.

Ce résultat nous ayant permis de mettre sérieusement en doute l'hypothèse de Jamin sur le point critique des gaz, nous avons cherché à étendre à ceux-ci l'expérience précédente. Des recherches faites, il y a quelques années, par l'un de nous, avec la collaboration de M. Mathias [1], sur la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées, avaient montré que la différence de ces densités va bien en diminuant quand la température s'élève, de sorte que le tracé graphique des résultats semblait montrer qu'elles tendent vers une limite commune au point critique. En réalité, cette conclusion donnée par nous n'avait pu être complètement vérifiée à cause de la difficulté et de l'incertitude des mesures précises dans le voisinage immédiat du point critique. La vérification complète ayant ici une importance capitale, nous avons pu résoudre la question en répétant les expériences dont on vient de parler. Nous avons seulement pris les précautions voulues pour atteindre et dépasser le point critique et nous avons remplacé le mercure du tube en O par de l'acide sulfurique pour avoir plus de sensibilité. La dénivellation de l'acide sulfurique n'a nullement disparu d'une façon complète au point critique.

---

[1] Cailletet et Mathias, *Densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées* (*Séances de la Société de Physique*, année 1886, p. 171, et année 1887, p. 162).

Il faut donc renoncer à admettre que la disparition apparente du liquide, à la température critique, est due à l'égalisation des densités.

Cette expérience montre d'ailleurs, en même temps, de la façon la plus nette, que le point critique n'est pas non plus celui où aurait lieu, d'après les idées de Cagniard-Latour, la vaporisation totale du liquide. En effet, si cela était, les deux branches du tube en O devraient renfermer toutes deux uniquement du gaz à partir de ce point. La dénivellation de l'acide sulfurique devrait donc, dans tous les cas, disparaître.

En résumé, nous croyons pouvoir tirer de l'ensemble de ces recherches les conclusions suivantes :

1° La température critique d'un gaz liquéfié n'est pas celle où le liquide se vaporise totalement, d'une façon brusque, dans l'espace qui le renferme. L'état liquide persiste au delà de cette température.

2° Ce n'est pas non plus la température à laquelle un liquide et sa vapeur saturée ont la même densité.

3° C'est la température à laquelle un liquide et l'atmosphère gazeuse qui le surmonte deviennent susceptibles de se dissoudre mutuellement en toutes proportions, en formant, après agitation, un mélange homogène.

Remarquons que cette conclusion s'applique tout aussi bien au point critique observé par accroissement de pression (1) sur les mélanges partiellement liquéfiables, tels que ceux d'acide carbonique et d'air, qu'à celui observé par l'élévation de température sur un gaz unique liquéfié. L'emploi du tube en O contenant de l'acide sulfurique nous a montré aussi que la disparition des ménisques de la portion liquéfiée, sous l'influence d'un accroissement convenable de pression, n'entraine pas l'égalisation des niveaux de l'acide sulfurique dans les deux branches. Nous avons pu voir persister une dénivellation de 10^{mm} à 15^{mm}, alors qu'il ne restait plus trace de ménisque dans aucune des branches.

De ces expériences résulte une conséquence importante sur les

---

(1) L. Cailletet, *Compressibilité des mélanges gazeux* (*Séances de la Société de Physique*, année 1880, p. 27).

conditions de liquéfaction d'un gaz. Puisque l'état liquide proprement dit persiste au delà de la température critique, il ne doit pas être absolument nécessaire d'abaisser au-dessous de cette température celle d'un gaz pour le liquéfier. Le liquide doit réellement prendre naissance, par une pression suffisante, au-dessus de ce point critique; mais, au lieu de se séparer de la masse gazeuse non encore liquéfiée, il y reste dissous.

La vérification directe de ce fait présentait un très grand intérêt. Nous l'avons obtenue très facilement en reprenant le tube à dépôt d'iode signalé plus haut et rempli de gaz acide carbonique. Nous l'avons chauffé, avant toute compression, vers 40°, c'est-à-dire à une température supérieure de 9° environ au point critique, puis nous avons donné une pression de 80^{atm} à 100^{atm}. Nous avons vu la masse comprimée prendre la coloration rose violacé caractéristique de l'iode dissous, et cette coloration, observée au spectroscope, a bien donné le spectre de l'iode dissous dans un liquide et non de l'iode gazeux.

Il est probable, d'après cela, que bien qu'on n'ait encore pu atteindre, d'une façon permanente, la température critique très basse de l'hydrogène, on a dû cependant en arriver assez près pour produire la liquéfaction de ce gaz dans les conditions qui viennent d'être indiquées.

Enfin l'interprétation que nous avons donnée plus haut du point critique fournit quelques données intéressantes sur la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux de la matière.

Le point critique étant, ainsi que nous l'avons dit, la température à laquelle un liquide devient soluble en toutes proportions dans l'atmosphère qui le surmonte, si l'on amène à cette température un tube renfermant une très petite quantité de liquide, on aura, après la disparition du ménisque et l'agitation de la masse, un tout homogène qui sera une dissolution très étendue d'un liquide dans un gaz; elle présentera surtout les propriétés d'un gaz, aussi légèrement altérées que l'on voudra par la faible quantité de liquide dissous. Si la proportion de liquide augmente, les propriétés du liquide proprement dit s'accuseront aux dépens de celles du gaz, et enfin, avec un tube renfermant une quantité de liquide susceptible de le remplir presque complètement à la température critique, on aura, au-dessus de ce point et après agitation, une

masse homogène dans laquelle les propriétés du gaz auront presque complètement disparu pour faire place exclusivement à celles du liquide. On peut donc non seulement concevoir, mais obtenir ainsi une série de corps homogènes mixtes, réalisant d'une façon tout à fait continue toutes les transitions possibles entre l'état liquide et l'état gazeux de la matière.

SÉANCE DU 5 JUILLET 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bertin-Sans (Henri), Chef des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

Goldhammer (Demetrius), Privat-Docent de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

M. Gernez indique les avantages du procédé d'investigation qu'il emploie pour la recherche des composés formés par les substances actives avec les corps inactifs : 1° le rayon de lumière polarisée qui traverse la solution renseigne sur les changements qu'elle éprouve sans lui faire subir aucune modification; 2° si la réaction qui se produit au moment où l'on met dans le liquide les corps en contact n'est pas totale immédiatement, on peut facilement suivre les progrès qu'elle fait avec le temps et en déterminer la limite, s'il y a lieu; 3° au contraire, dans le cas où la réaction est totale dès les premiers instants, il suffit, pour en faire l'étude, d'employer, pour un poids constant de l'une des substances, des poids progressivement croissants de l'autre dans un volume total de liquide que l'on amène à une valeur constante, et de mesurer le pouvoir rotatoire de la solution.

Pour le moment, il ne fait connaître que des exemples de ce dernier cas, se réservant d'indiquer ultérieurement des phénomènes qui varient avec le temps.

Aux expériences sur l'acide tartrique uni aux molybdates de soude et d'ammoniaque ou aux tungstates neutres de potasse et de soude, il ajoute les résultats qu'il a obtenus en combinant le même acide avec les molybdates neutres de magnésie et de lithine. L'examen des mesures effectuées permet de reconnaître que le pouvoir rotatoire maximum des solutions correspond à une combinaison de $1^{éq}$ d'acide tartrique avec $2^{éq}$ de molybdate neutre de magnésie; il correspond à une rotation 37, 7 fois plus grande

que la rotation de l'acide tartrique qu'elle contient. Avec le molybdate neutre de lithine, la rotation maxima correspond à une rotation 35 fois plus grande que celle de l'acide actif qu'elle contient et à une combinaison des deux corps en contact dans le même rapport d'équivalents. Si l'on compare ces résultats à ceux que l'auteur a publiés antérieurement, on peut les réunir sous un énoncé unique : *Les combinaisons qui se produisent en solution aqueuse entre l'acide tartrique et les molybdates et tungstates neutres étudiés et qui correspondent à un pouvoir rotatoire maximum sont formées de l'union de l'acide avec le sel molécule à molécule.*

M. Gernez donne aussi un aperçu de l'étude qu'il a réalisée avec l'acide malique gauche uni au molybdate d'ammoniaque. En voici les principaux résultats :

1° L'addition progressive du sel à la solution d'acide malique détermine une augmentation de la rotation qui, de $-0°12'$, atteint un maximum de $-5°19'$ (35 fois la rotation de l'acide malique contenu dans la solution). Il correspond à une combinaison de $9^{éq}$ d'acide malique pour $1^{éq}$ de molybdate d'ammoniaque.

2° Pour un poids de sel plus grand que $\frac{1}{9}$ d'équivalent, la rotation rétrograde passe de gauche à droite et continue à augmenter; une variation brusque dans l'augmentation se manifeste lorsque le liquide contient $2^{éq}$ d'acide malique pour $1^{éq}$ de sel.

3° L'addition de nouvelles quantités de sel détermine une augmentation de la rotation, qui atteint une valeur maxima quand à $1^{éq}$ d'acide malique on a ajouté $1^{éq}$ de molybdate d'ammoniaque; la valeur du maximum est $+72°,48$, valeur qui représente 364 fois la rotation de la substance active primitivement contenue dans le liquide.

Un examen attentif du phénomène montre qu'à l'origine des quantités très faibles de sel produisent des effets considérables; ainsi $\frac{1}{384}$ d'équivalent de sel double la rotation présentée par le liquide.

Cet effet diminue pour des additions successives; mais lorsque le liquide contient $\frac{1}{7}$ d'équivalent de sel, l'effet produit a repris une valeur plus grande que la valeur initiale et, lorsqu'il atteint $\frac{1}{2}$ équivalent, il suffit de $\frac{1}{1100}$ d'équivalent pour augmenter la rotation d'une quantité égale à celle que produirait le liquide actif contenu dans la solution.

M. Th. Schwedoff donne la suite de ses recherches *sur le frottement des liquides.*

En partant des lois qu'il avait trouvées pour la rigidité de la solution de gélatine, M. Schwedoff établit la relation suivante entre la rigidité E d'un liquide et son coefficient de frottement η

$$\eta = \frac{E}{\beta} + \frac{f}{v},$$

où f est le *ressort limite* dont un liquide soit capable quand on le déforme continuellement, v la vitesse de la déformation effective et β la vitesse de la déformation *résiduelle*.

Il résulte de cette formule qu'en général la viscosité d'un liquide doit dépendre de la vitesse, et cela d'autant plus que f est plus considérable. η ne devient constant que dans deux cas : quand v est excessivement grand, ou bien quand f est très petit.

M. Schwedoff avait vérifié ces conclusions sur la glycérine, dont f est insensible et dont η, en effet, s'est révélé constant. Par contre, pour la solution très diluée de gélatine, il a trouvé, pour le coefficient η, des nombres qui peuvent varier de 1 à 6, selon la vitesse de frottement.

M. G.-R. Ostheimer présente et fait fonctionner devant la Société le *graphophone* inventé par le professeur C.-S. Tainter. Le but du professeur Tainter ayant été surtout de produire un appareil aussi simple et aussi peu coûteux que possible, il a employé, dans la construction de son graphophone, un mécanisme des moins compliqués, qui est mis en action sans le secours de moteur électrique ou autre, se contentant de la pédale, qui permet, après quelques minutes d'essai, à la personne la plus inexpérimentée de se servir très facilement du graphophone.

L'appareil comporte quatre parties distinctes : 1° le système mécanique d'entraînement du cylindre; 2° le système enregistreur (*recorder*); 3° le système répétiteur (*reproducer*); 4° le système moteur et régulateur de vitesse.

L'entraînement du cylindre est produit par un mécanisme des plus simples, composé d'un axe horizontal sur lequel est fixée une poulie mise en mouvement par une petite corde actionnée par le moteur. Deux petits boutons, placés à droite, permettent d'embrayer ou de désembrayer à volonté. Les cylindres sont en carton recouvert de cire et ont $0^m,15$ de long et 32^{mm} de diamètre. Leur vitesse angulaire normale est de 180 à 190 tours par minute. Le cylindre employé pour recevoir l'inscription se place entre deux pièces demi-sphériques qui assurent un centrage parfait et une mise en place rapide.

L'appareil enregistreur se compose essentiellement d'une lame mince de mica sur laquelle est fixée une lame coupante qui vient s'appliquer sur le cylindre recouvert de cire. La plaque de mica est maintenue, à sa périphérie, dans une monture de bronze portant un pas de vis qui vient s'engager sur la vis horizontale servant à l'entraînement longitudinal du système enregistreur.

Le système répétiteur, se substituant au système enregistreur, diffère entièrement de ce dernier et se compose d'un petit appareil en ébonite dont l'extrémité se termine par une légère pointe en acier, articulée comme un levier dont l'une des extrémités s'appuie sur le cylindre et porte un fil tendu attaché au centre d'un disque mince en celluloïd de 18^{mm} à 20^{mm} de diamètre seulement. La petite pointe en acier, rencontrant

la surface accidentée de la rainure produite sur le cylindre par la lame coupante du système enregistreur, transmet ses vibrations au petit disque de celluloïd par l'intermédiaire du fil tendu, et de là, par un tuyau en caoutchouc, à deux petits cornets qui se placent dans les oreilles de l'auditeur.

Le système moteur entraînant le cylindre se compose de deux plateaux de friction recouverts d'une composition succédanée du cuir. Ces deux plateaux restent en contact jusqu'au moment où la vitesse angulaire de l'appareil est suffisante. A partir de ce moment, un régulateur à force centrifuge agit pour séparer le plateau fixé sur l'arbre moteur à pédale du plateau fixé sur l'axe commandant le graphophone, et oblige ainsi l'axe de la pédale à tourner à vide et à ne plus entraîner l'arbre de l'appareil jusqu'au moment où la vitesse se ralentit assez pour produire de nouveau l'embrayage par le rapprochement des plateaux.

A la suite de ces détails, M. G.-R. Ostheimer, à titre de démonstration, parle dans le graphophone, et dit qu'il est heureux d'avoir l'honneur de présenter à la Société française de Physique cet appareil appelé le *graphophone,* et inventé par le professeur Charles Sumner Tainter, de Washington, pour enregistrer et reproduire tous les sons. Il prie ensuite les membres de la Société de vouloir bien venir écouter les paroles qu'il vient de prononcer, afin qu'ils puissent se rendre compte de la fidélité avec laquelle l'appareil va les répéter.

M. Mascart répond sur le même cylindre : « Nous remercions beaucoup M. Ostheimer et M. Waters de nous avoir ainsi présenté le graphophone, et nous les prions de transmettre au professeur Tainter nos sincères compliments. »

Recherches expérimentales sur la cohésion des liquides ;

Par M. Théodore Schwedoff.

I. — Rigidité des liquides.

1. *État actuel de la question.* — Lorsqu'on modifie la forme d'un corps physique, sans en diminuer le volume, on éprouve deux genres distincts de réaction : frottement et ressort. Le premier, qui détermine la *viscosité,* ne se manifeste que pendant la déformation, dépend de la vitesse de celle-ci et n'est pas capable de ramener le corps à sa figure primitive. Le second dépend de la *rigidité* et se fait sentir alors même que la déformation reste stationnaire. Si la déformation ne dépasse pas une certaine limite,

la réaction rigide est capable de ramener la figure du corps à son état initial. L'ensemble de ces deux modes de réaction constitue la cohésion d'un corps.

On connaît bien les méthodes expérimentales qui permettent de mesurer la cohésion des corps solides. Quant aux liquides, on n'en a pu mesurer que la viscosité, et, pour cette raison, leur rigidité est réputée nulle. Pourtant, la généralité des propriétés de la matière avait depuis longtemps inspiré aux physiciens l'idée que les fluides aussi, malgré l'extrême mobilité de leurs particules, doivent recéler des vestiges de la rigidité. Maxwell (1) conçut l'idée de relier la rigidité des liquides à leur viscosité par l'hypothèse suivante. La rigidité E d'un liquide serait liée au temps t, écoulé depuis le moment de sa déformation, par la relation

$$E = E_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

où E_0 est la rigidité du liquide au premier instant de déformation, e la base des logarithmes népériens, τ le *module de relaxation,* c'est-à-dire la période au bout de laquelle E tombe à $\left(\frac{1}{e}\right)^{\text{ième}}$ de sa valeur initiale. Cette hypothèse conduit à la loi

$$\eta = E_0 \tau,$$

où η est le coefficient de frottement du liquide.

D'après cette loi, il doit y avoir une certaine relation entre la rigidité et la viscosité des liquides. Or on sait que les corps transparents rigides, tels que le verre, par exemple, déformés par un effort, acquièrent les propriétés polarisantes d'un spath, et il était tout naturel de chercher les traces des mêmes propriétés dans les liquides visqueux. En effet, plusieurs physiciens ont remarqué que certains liquides, comme le verre fondu, le baume de Canada, le collodion, déformés rapidement, rétablissent le rayon polarisé par un nicol et mis à l'extinction par l'analyseur.

M. Kundt (2) et, après lui, M. de Metz (3) ont soumis la question à une étude détaillée, basée sur la méthode expérimentale indiquée par Maxwell (4). Mais, quand on confronte les résultats de

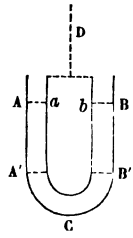
(1) *Phil. Mag.*, t. XXXV; 1868.
(2) Kundt, *Ann. de Wied.*, t. XIII; 1881.
(3) De Metz, *Ann. de Wied.*, t. XXXV; 1888.
(4) Maxwell, *Ann. de Pogg.*, t. I; 1874.

leurs recherches soignées, on reste toujours en présence de ce fait, observé d'abord par Maxwell, que la propriété de polariser la lumière ne paraît pas dépendre de la viscosité des liquides; tandis que certains liquides, très mobiles, comme les solutions très étendues de gélatine ou le baume de Canada, déformées rapidement, agissent sur la lumière polarisée, d'autres liquides, incomparablement plus visqueux, n'offrent pas de trace perceptible de cette propriété. Tels sont, par exemple, le sirop de sucre, la glycérine, dont le coefficient de frottement peut être 400 fois plus considérable que celui de la gélatine liquide. Ce fait est en contradiction évidente avec la loi hypothétique de Maxwell et nous prouve qu'on ne peut pas chercher dans la viscosité des liquides l'indice suffisant de leur rigidité.

2. *Méthode directe pour mesurer la rigidité des liquides.* — Puisque les liquides, en vertu de la mobilité de leurs masses, sont assujettis à rester dans un vase, n'ayant de libre que leur surface supérieure, c'est en cet état qu'on doit se résigner à les étudier. Cela ne doit pourtant pas nous empêcher de démasquer leur rigidité, si tant est qu'ils soient rigides.

Imaginons-nous un vase AB (*fig.* 1), cylindrique, ouvert en haut,

Fig. 1.



et un autre vase *ab* concentrique au premier et suspendu à un fil de torsion D. Admettons que l'espace annulaire entre les parois des deux vases est rempli du liquide à étudier. Imprimons au fil une torsion δ. Le tube liquide, entraîné par la rotation du cylindre intérieur et arrêté par les parois immobiles du vase extérieur, éprouvera une déformation, dirigée dans le sens de la torsion α. Si le liquide n'est que très visqueux, sa déformation durera tant que

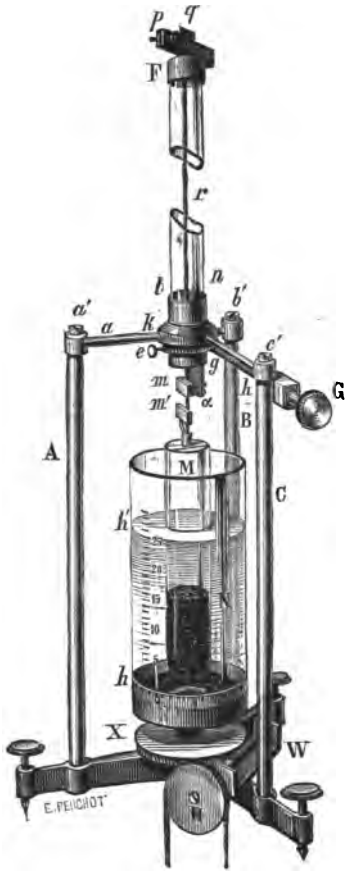
l'angle δ n'arrivera pas à zéro. D'ailleurs, on peut arrêter le mouvement du liquide à tout moment, en détordant complètement le fil. Mais, si le liquide est rigide, il s'établira au bout d'un certain temps un état d'équilibre entre l'élasticité du fil tordu et la réaction du liquide déformé, et cette fois, si l'on détord le fil complètement, ce sera le liquide qui tendra à revenir à sa position primitive, en entraînant après lui le fil et en lui imprimant une torsion contraire à celle que le fil avait auparavant. Il va sans dire que les mêmes résultats doivent avoir lieu, si l'on imprime un déplacement angulaire au vase extérieur, tout en laissant en repos le bout supérieur du fil D.

3. *Appareil de mesure.* — Un trépied (*fig.* 2), muni de vis calantes, supporte trois montants A, B, C, reliés en haut à un anneau k par des tiges a, b, c. Cet anneau porte intérieurement un tube lg qui peut tourner sur lui-même au moyen d'une roue dentée g, qui engrène avec une vis sans fin h. Une vis de pression e réunit cette roue au tube l; en la desserrant, on peut tourner le tube à la main, quand il s'agit d'un mouvement considérable. Le tube de verre n, mastiqué dans l, est surmonté d'une pince p qui serre une plaque q. C'est dans cette plaque qu'est encastré le bout supérieur du fil de torsion r. Le bout inférieur du même fil est enchâssé dans un fil de laiton, lequel est serré dans un manchon au moyen d'une vis de pression : de cette manière, on a toujours la même longueur du fil de suspension et, par conséquent, la même disposition de l'appareil. Le bord supérieur du vase M est entouré d'un anneau métallique, et c'est à cet anneau qu'est fixé le manchon qui termine le fil. Le vase extérieur N est monté sur un axe vertical fixé au centre du trépied. Un support W vissé au même trépied porte une vis sans fin, munie d'un large bouton H. Cette vis s'engrène avec une roue dentée X, qui est fixée à l'axe de l'appareil et peut entraîner le vase extérieur dans sa rotation. On peut éloigner la vis de la roue en écartant le support W de l'axe de l'appareil.

L'exactitude des résultats qu'on peut obtenir avec cet appareil dépend essentiellement de la précision dans la mesure des angles de torsion. On doit s'attendre à ce que la rigidité des liquides soit excessivement petite et que les angles de torsion du fil et du li-

quide doivent aussi être très petits. Dans ce cas, on pourrait attribuer à la rigidité du liquide ce qui ne serait qu'une erreur de mesure. Pour prévenir cette confusion, je me suis servi, pour mesurer

Fig. 2.



les deux torsions, d'une disposition que la *fig.* 3 représente à part : *f* est un anneau fendu dans toute sa hauteur ; *ab* une plaque de laiton fixée à l'anneau ; *m* un miroir porté par trois vis de rappel, dont deux sont visibles sur la figure. Ces vis sont entourées de ressorts antagonistes ; *m'* est un autre miroir fixé à un anneau β. On applique l'anneau *f* sur le tube *g* de l'appareil (*fig.* 2). De même,

on applique l'anneau β sur le manchon qui termine le fil de suspension. De cette manière, le miroir *m* devient relié invariablement au tube *l*F (*fig.* 2) et, par conséquent, la position de ce miroir représente la position du bout supérieur du fil *r*. Pareil-

Fig. 3.

lement, le miroir *m'* devient solidaire du cylindre intérieur M, ainsi que du bout inférieur du fil de suspension, et en reproduit tous les déplacements angulaires. Les angles de déviation des deux miroirs sont mesurés au moyen d'une échelle et d'une lunette à réticule. L'échelle est divisée en millimètres et forme un arc de cercle, dont le centre coïncide avec le fil de suspension et dont le rayon mesure 500^{mm}. Avec cette disposition de l'échelle, la déviation du rayon, lue dans la lunette, représente en unités absolues la déviation du miroir qui réfléchit le rayon. J'entends par unité absolue l'angle dont l'arc est égal à son rayon. Le zéro de l'échelle se trouve à son milieu. Une petite correction est encore à apporter dans la lecture des angles, à cause de l'excentricité des miroirs dont les surfaces réfléchissantes ne coïncident pas avec le fil D.

4. *Procédés d'expérimentation et de mesure.* — Le diamètre du vase extérieur était déterminé par le jaugeage; celui du

vase intérieur était mesuré au moyen d'un comparateur. Les vases en verre n'étant jamais rigoureusement cylindriques, il a fallu prendre plusieurs séries de mesures pour en déterminer le diamètre moyen. Le point essentiel de la méthode est une détermination précise du coefficient d'élasticité du fil de torsion, car c'est cette force qui est destinée à mesurer la réaction du liquide. De là une étude spéciale que j'ai faite sur ce sujet. Il s'agissait d'établir les limites dans lesquelles un fil ne donne pas de torsion résiduelle et suit la loi de proportionnalité entre la force et l'angle de torsion; car cette proportionnalité est nécessaire pour que le coefficient d'élasticité de torsion reste constant. Pour déterminer ce coefficient, je me suis servi de la méthode d'un disque suspendu et oscillant dans son plan.

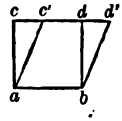
Pour étudier la rigidité d'un liquide, on procède de la manière suivante. On remplit le vase extérieur du liquide jusqu'à une certaine hauteur et l'on y plonge le vase intérieur, que l'on avait pris soin de charger préalablement de grenaille. Le poids dans le liquide du cylindre chargé doit être à peu près égal au poids du disque qui servait à déterminer l'élasticité du fil de torsion. On suspend le vase intérieur au fil. On installe la lunette de manière que le fil de torsion passe par le centre de l'échelle. On remet les miroirs m et m' à leurs places respectives. En faisant tourner ces miroirs autour de leur axe commun, on arrive à ce que les deux images du zéro de l'échelle, renvoyées par les deux miroirs, coïncident avec le fil du réticule. On voit alors dans la lunette deux images de l'échelle, dont la supérieure est renvoyée par le miroir inférieur réuni au cylindre M. Le déplacement dans la lunette de cette image de l'échelle donne l'angle de rotation du cylindre intérieur, et par conséquent l'angle ω de torsion du liquide. L'image inférieure de l'échelle est celle qui est formée par le miroir supérieur, réuni au bout supérieur du fil de suspension, par l'intermédiaire du tube Fn (*fig.* 2). Le déplacement de cette image par rapport au réticule donne la rotation du bout supérieur du fil de suspension. Nous désignerons cet angle par d. Enfin la différence $d - \omega$, que nous désignerons par δ, n'est autre chose que l'angle de torsion du fil. On voit de là que le procédé d'investigation d'un liquide par rapport à sa rigidité devient bien simple. Après avoir ramené les deux images de l'échelle au zéro, ce qui

suppose un état d'équilibre parfait, et après s'être assuré que l'équilibre persiste plusieurs heures de suite, on imprime au fil une torsion en agissant sur le bouton G de la vis *gh* (*fig.* 2), et on laisse reposer le liquide un certain temps. Si le liquide est privé de rigidité, les deux images de l'échelle arrivent à une même déviation, le réticule passe par les mêmes traits des deux échelles. On a alors $d = \omega$ et $\delta = 0$. Quand le liquide est très visqueux et que le fil est très fin, le mouvement de l'échelle supérieure devient à la fin excessivement lent, au point de devenir imperceptible. Mais il y a moyen de s'assurer que c'est le frottement seul qui réagit contre la torsion du fil : c'est de ramener l'échelle inférieure à la coïncidence avec l'autre en agissant sur la vis *g* dans le sens contraire. On voit alors que les deux échelles ne bougent plus et restent en repos des heures et même des jours entiers. Par contre, si le liquide est rigide, la marche de l'expérience change de tout point. Quand on agit sur la vis *g*, l'échelle supérieure suit rapidement le mouvement de l'échelle inférieure pour s'arrêter à une certaine déviation ω. C'est qu'à ce moment la réaction élastique du liquide est égale à celle du fil. A partir de ce moment, le liquide ne se déforme plus, si l'on n'a pas dépassé la limite de son élasticité; ou bien, si l'on avait dépassé cette limite, le liquide continue de se déformer *résiduellement,* et l'échelle supérieure se déplace très lentement. Mais, si l'on ramène les deux échelles à la coïncidence, en tournant le bouton G, on voit que cette fois l'échelle supérieure, au lieu de rester immobile, précède l'échelle inférieure dans son mouvement rétrograde, ce qui prouve que l'élasticité du liquide l'emporte sur la force de torsion du fil. Le liquide agit comme un ressort relâché. Notons bien que tous ces détails ne sont perceptibles que si l'élasticité du fil est conforme à la cohésion du liquide. Si le fil est trop fort, il entraîne le liquide dans sa torsion et le *déchire.* Au contraire, si le fil est trop faible, le liquide ne lui obéit plus et reste en repos apparent.

5. *Théorie de la méthode.* — Imaginons-nous un cube *abcd* (*fig.* 4) formé d'une matière isotrope et supposons que la face supérieure *cd* est soumise à l'action d'un effort tangentiel T, tandis que la face *ab* reste immobile. Le cube doit prendre la forme d'un rhomboèdre $abc'd'$. Ce genre de déformation s'appelle *cisaille-*

ment et le rapport $\frac{cc'}{ca}$ est la mesure de l'effet de cisaillement. Dans les limites de l'élasticité parfaite, l'effet de cisaillement est proportionnel à la force T, rapportée à l'unité de surface. La force E capable de produire l'unité de l'effet de cisaillement par unité de

Fig. 4.



surface est la mesure de la rigidité du corps. Par suite de cette définition, on a, pour un effet quelconque s de cisaillement,

$$T = Es. \tag{1}$$

Divisons la capacité entre les deux vases (*fig.* 1) par un plan horizontal A'B' en deux parties, dont l'inférieure, que j'appellerai *fond*, est limitée par les parois des deux fonds. Pour le moment, je me bornerai au problème de l'équilibre entre la force d'élasticité du fil et la réaction rigide de la partie cylindrique du liquide, qui est contenue d'une part entre les plans AB, A'B', et de l'autre entre les parois cylindriques de deux vases.

Décomposons cette partie du liquide en couches concentriques cylindriques, de hauteur $AA' = h$, de rayon r et d'épaisseur dr. La couche voisine du vase extérieur reste en repos; la couche qui adhère aux parois du vase intérieur éprouve une rotation ω autour de son axe. En vertu de ces conditions, toutes les couches intermédiaires éprouvent une certaine déformation qu'il s'agit de déterminer. Soient (*fig.* 5) AB et CD les sections de deux surfaces cylindriques par un plan horizontal; O la projection de l'axe sur le même plan; Oa, Ob les sections de deux plans passant par cet axe. L'élément du liquide $abcd$, que nous supposons infiniment petit, éprouve un cisaillement et devient $abc'd'$. Le rapport $\frac{cc'}{ca} = s$ est la mesure de cette déformation. Si T est la force tangentielle qui agit sur l'unité de surface CD et E la rigidité du corps, on a

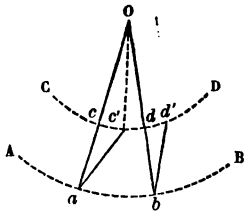
$$s = \frac{T}{E}. \tag{1a}$$

Par le point c' et par l'axe O menons un plan Oc'. Soient $d\omega$ l'angle cOc', r le rayon Oc, dr la distance ac. On a

$$(1_b) \qquad cc' = r\,d\omega, \qquad s = \frac{r\,d\omega}{dr}, \qquad \frac{r\,d\omega}{dr} = \frac{T}{E}, \qquad T = Er\frac{d\omega}{dr}.$$

Le moment de toutes les forces appliquées à la surface CD est $T2\pi rhr$. Dans l'état d'équilibre ce moment doit être égal au moment de torsion du fil. En désignant par δ l'angle et par k le coef-

Fig. 5.



ficient de l'élasticité de torsion, nous avons la condition d'équilibre

$$T2\pi rhr = k\delta.$$

En substituant T de l'équation (1_b), on a

$$(1_c) \qquad d\omega = \frac{k\delta}{2\pi Eh}\frac{dr}{r^3}.$$

En désignant par r_0 et r_1 les rayons des deux vases et en remarquant que le déplacement angulaire du vase intérieur est la somme des déplacements de toutes les couches concentriques, on a

$$(1_d) \qquad \omega = \int_{r_0}^{r_1} d\omega = \frac{k\delta}{4\pi Eh}\left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r_1^2}\right).$$

Remarquons que ω est aussi l'angle de déviation du miroir inférieur qui réfléchit l'image supérieure de l'échelle. Nous appellerons cet angle *torsion du liquide,* tandis que δ est la *torsion du fil.* La dernière équation nous donne

$$(2) \qquad E = \frac{k}{4\pi h}\left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r_1^2}\right)\frac{\delta}{\omega}.$$

Cette équation nous aurait permis de déterminer la rigidité E

du liquide, si la torsion du fil δ n'était influencée que par la partie cylindrique des deux vases. Mais il y a, en outre, l'*effet du fond* qui reste inconnu. Tâchons de l'éliminer.

Pour abréger, nous écrirons

$$(2_a) \qquad E = q\frac{k\delta}{h\omega}, \qquad \text{où} \qquad q = \frac{1}{4\pi}\left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r_1^2}\right).$$

On en tire

$$(2_b) \qquad k\delta = \frac{E}{q}h\omega.$$

Supposons que nous n'ayons versé du liquide que jusqu'à la hauteur A'B' (*fig.* 1), laquelle serait prise pour zéro de la hauteur h. En imprimant au fil une certaine torsion δ_0, nous aurons une rotation ω_1 du vase. Ajoutons du liquide jusqu'à la hauteur h. Cette fois une torsion δ_1 du fil est nécessaire pour déterminer la même déviation ω_1 du vase intérieur. Le moment produit par la réaction du liquide étant égal à la somme des moments produits par le fond et par la partie cylindrique du fil, on a

$$(2_c) \qquad k\delta_1 = k\delta_0 + k\delta,$$

où δ est la torsion du fil engendrée par la partie cylindrique seule et déterminée par l'équation (2_b). D'un autre côté, on peut s'imaginer une couche liquide limitée par deux surfaces cylindriques de rayons r_0 et r_1, et d'une hauteur inconnue x, choisie de telle manière que cette couche, étant tordue de l'angle ω_1, puisse imprimer au fil la torsion δ_0.

En vertu de l'équation (2_b), nous aurons, pour cette couche imaginaire,

$$(2_d) \qquad k\delta_0 = \frac{E}{q}x\omega_1.$$

En substituant (2_d) et (2_b) dans (2_c), on a

$$(2_e) \qquad k\delta_1 = \frac{E}{q}\omega_1(h + x).$$

Pour déterminer la hauteur x, on tire des équations (2_c) et (2_b)

$$(2_f) \qquad k\delta_1 - k\delta_0 = k\delta = \frac{E}{q}h\omega_1.$$

Les équations (2_e) et (2_f) nous donnent définitivement

$$(3)\qquad \begin{cases} x = \dfrac{\delta_0}{\delta_1 - \delta_0} h, \\ E = q \dfrac{k}{k+x} \dfrac{\delta_1}{\omega_1}, \\ q = \dfrac{1}{4\pi}\left(\dfrac{1}{r_0^2} - \dfrac{1}{r_1^2}\right). \end{cases}$$

Ces équations nous offrent toutes les données nécessaires pour déterminer la rigidité E du liquide.

Remarquons que x ne dépend que de la position du plan A′B′ dans la partie cylindrique des vases.

Donc ce doit être une constante. J'indiquerai ailleurs le moyen de déterminer la valeur numérique de x. Pour le moment, je me bornerai à dire que, pour le zéro de l'échelle tracée sur le vase de mon appareil (*fig.* 2), $x = 5^{cm},4$.

Cela veut dire que l'on aurait dû prolonger de $5^{cm},4$ la surface cylindrique des deux vases pour remplacer l'effet du fond sur la torsion du fil suspendu.

Légendes des formules (3).

k, coefficient de l'élasticité de torsion du fil;
δ_0, angle de torsion du fil pour $h = 0$;
h, hauteur du liquide au-dessus de $h = 0$;
δ_1, angle de torsion du fil pour h quelconque;
r_0, rayon extérieur du cylindre suspendu;
r_1, rayon intérieur du cylindre fixe;
ω_1, angle de torsion du liquide;
E, rigidité du liquide;
x et q, deux constantes déterminées par les équations (3).

6. *Expériences sur la rigidité de la solution de gélatine.* — 5^{gr} de gélatine sèche sont dissous dans 1^{lit} d'eau distillée. La solution est filtrée à chaud et dans cet état versée dans l'appareil jusqu'à la hauteur $h = 16^{cm}$ au-dessus du zéro de l'échelle gravée sur le vase extérieur. La surface libre du liquide a été recouverte d'une couche d'huile d'amande de 2^{mm} à peu près d'épaisseur, pour préserver le liquide de l'évaporation.

Sans cette précaution, il se forme sur la surface du liquide une couche de gélatine plus condensée que le reste du liquide, ce qui modifie sensiblement les résultats. On laisse l'appareil vingt-quatre heures en repos. Un couvercle préserve la solution contre la poussière. Pendant ce temps la masse se prend et forme un liquide en apparence plus mobile que l'acide sulfurique.

Dans les mesures qui suivent, t est le temps d'observation, en minutes, compté à partir du moment de déformation du liquide,

$$\omega = 1000\,\omega_1,$$
$$\delta = 1000\,\delta_1.$$

On imprime au liquide une torsion $\omega = 7$, ce qui fait tordre le fil de $\delta = 81$. Aussitôt ω tend à augmenter; mais on prend soin de détordre le fil, *afin d'entretenir* ω *sans variation*. On observe, de temps en temps, la torsion du fil et le temps t. On a :

$\omega = 7$	
t.	δ.
0,0	81
7,1	63
14,6	52
22	46
28	43
36,5	40
48	37
90	37

On voit que la rigidité du liquide, qui fait équilibre à l'élasticité du fil, diminue avec le temps. C'est, selon Maxwell, le phénomène de *relaxation* du liquide.

Pourtant cette diminution ne va pas jusqu'au zéro, mais s'arrête, au bout de 48′, à une certaine valeur. Ce n'est donc qu'une partie de sa rigidité que le liquide avait perdue dans la durée de l'expérience, partie qui est déterminée par le rapport $\frac{37}{81}$. Mais cette relaxation n'est qu'apparente. Immédiatement après cette série d'observations, je détords le fil complètement : $\delta = 0$. Le liquide ne revient plus à sa position primitive, quoiqu'il ne soit plus sollicité par le fil. Le liquide s'arrête à $\omega = 3,8$; c'est sa déformation résiduelle. En la retranchant de la déformation initiale, on a

$$\omega = 7 - 3,8 = 3,2.$$

Donc, vers la fin de l'expérience, la réaction du liquide ne provenait que de la déformation égale à 3,2, que nous appellerons *déformation active*. On a

$$37 : 3,2 = 81 : 7,$$

ce qui prouve que le coefficient de rigidité du liquide, au bout de 90′ de déformation, est resté le même qu'il était au premier moment.

On imprime au liquide une nouvelle torsion $\omega = 14$, comptée à partir de sa nouvelle position d'équilibre. La torsion du fil devient $\delta = 58$ seulement. Il paraît d'abord que la rigidité du liquide a encore baissé. Pourtant, en détordant le fil jusqu'à $\delta = 0$, on voit que le liquide rebrousse chemin, pour s'arrêter à $\omega = 9$.

C'est sa nouvelle position d'équilibre. Cette fois la déformation résiduelle est 9 et la déformation active $14 - 9 = 5$. On a de nouveau

$$58 : 5 = 81 : 7.$$

En partant de cette nouvelle position du liquide, on lui imprime une très faible déformation $\omega = 3$.

La torsion du fil est alors $\delta = 35$. On détord le fil complètement, et cette fois il n'y a plus de déformation résiduelle appréciable. On a toujours

$$35 : 3 = 81 : 7.$$

Il en résulte que la rigidité réelle de ce liquide reste constante.

Pour déterminer cette rigidité en unités absolues, on a les données suivantes :

$$r_0 = 2^{cm},851, \qquad r_1 = 4^{cm},108; \qquad h = 16^{cm}, \qquad x = 5^{cm},4,$$
$$k = 195,4 \text{ dynes}, \qquad \frac{\delta}{\omega} = \frac{81}{7}.$$

En substituant ces nombres dans les équations (3), on a

$$E = 0,535 \text{ C.G.S.}$$

Cette expérience nous révèle les propriétés suivantes de la solution contenant $\frac{1}{2}$ pour 100 de gélatine :

1° La rigidité du liquide est 1 trillion 840 billions de fois moins considérable que celle de l'acier.

2° Cette rigidité est constante et n'éprouve pas de modification par suite de déformations, dans les limites de l'expérience.

3° La relaxation du liquide est un phénomène apparent, qui provient d'une modification dans la position d'équilibre du liquide.

4° La déformation observée ou *effective* du liquide se décompose en deux parties. La première, dite *résiduelle,* est passive en ce sens que, une fois formée, elle ne se fait pas sentir comme facteur de réaction. La deuxième agit seule contre les forces extérieures, et, pour cette raison, on peut l'appeler *active.*

5° L'effort nécessaire pour entretenir une déformation est proportionnel à la valeur active de la déformation.

6° La déformation résiduelle n'apparaît pas si la déformation effective n'a pas dépassé une certaine *limite.* Au delà de cette limite, la déformation résiduelle dépend de la déformation effective et de sa durée.

7° La déformation résiduelle est nulle au premier instant de déformation effective.

8° Il faut distinguer entre la rigidité *vraie* et la rigidité *apparente.* La première est le ressort par unité de déformation active. La deuxième est le ressort par unité de déformation effective. L'idée de *relaxation* ne s'applique qu'à cette dernière rigidité, l'autre restant sans variations, dans certaines limites de cisaillement.

7. *Lois de relaxation.* — Ramenons l'analyse au cas le plus simple, à la déformation d'un cube par cisaillement.

Soient

λ la déformation limite, c'est-à-dire celle que le cube peut supporter sans éprouver de déformation résiduelle;

ε la déformation effective, c'est-à-dire celle que l'on a imprimée au cube : on suppose $\varepsilon > \lambda$;

t la durée de ε;

ρ déformation résiduelle qui s'est produite pendant le temps t;

α la différence $\varepsilon - \rho$ qui reste au bout du temps t ou bien la déformation active;

u la vitesse avec laquelle augmente ρ, la déformation ε étant constante.

Remarquons que ρ ne prend naissance que si l'on a $\alpha > \lambda$ et que la vitesse u croît avec la différence $\alpha - \lambda$. Il est naturel d'admettre que u est proportionnel à cette différence. Ce sera une hypothèse qu'on devra vérifier plus tard. En désignant par β la valeur que prend u quand la différence $\alpha - \lambda$ est égale à l'unité, on a

$$(4_a) \qquad u = \frac{d\rho}{dt} = \beta(\alpha - \lambda).$$

En vertu de la proposition 4° du Chapitre précédent, on a

$$\varepsilon = \rho + \alpha;$$

par conséquent,

$$\frac{d\rho}{dt} = \beta(\varepsilon - \rho - \lambda).$$

Remarquons que λ est une constante qui dépend de la nature du liquide, ε est constante d'après les conditions de l'expérience, β est constante par hypothèse. En intégrant la dernière équation, on a

$$-\beta t + c = \log(\rho + \lambda - \varepsilon),$$

où c est la constante d'intégration.

D'après la proposition 7°, on a $\rho = 0$ pour $t = 0$; par conséquent, on a

$$c = \log(\lambda - \varepsilon),$$

$$-\beta t = \log\left(\frac{\rho}{\lambda - \varepsilon} + 1\right),$$

$$(5) \qquad \rho = (\varepsilon - \lambda)(1 - e^{-\beta t}),$$

où e est la base des logarithmes népériens.

C'est la loi de la déformation résiduelle. Remarquons que $\varepsilon - \lambda$ est toujours positive, puisque la question sur la déformation résiduelle perd sa raison d'être pour $\varepsilon < \lambda$.

Cette formule représente fidèlement la marche générale de ρ. La déformation résiduelle est nulle pour $t = 0$. Elle augmente avec les quantités ε, β, t. Enfin, pour $t = \infty$, elle devient $\varepsilon - \lambda$, d'où l'on tire

$$\lambda = \varepsilon - \rho_\infty.$$

Désignons par F le ressort du liquide, c'est-à-dire l'effort nécessaire pour entretenir au temps t la déformation ε. Soit E la rigi-

dité *vraie* du liquide, c'est-à-dire le rapport $\frac{F}{\alpha}$, où α est la déformation active au temps t.

Par suite de cette définition, on a

$$F = E\alpha = E(\varepsilon - \rho).$$

En substituant la valeur de ρ de l'équation (5),

$$F = E[\lambda + (\varepsilon - \lambda)e^{-\beta t}].$$

Désignons par R la rigidité apparente du liquide, c'est-à-dire le rapport de $\frac{F}{\varepsilon}$. Nous aurons

$$(6) \qquad R = E\left[\frac{\lambda}{\varepsilon} + \left(1 - \frac{\lambda}{\varepsilon}\right)e^{-\beta t}\right].$$

C'est la loi de relaxation. On voit qu'elle diffère essentiellement de celle de Maxwell.

D'après cette formule, pour $t = 0$, on a

$$R = E,$$

c'est-à-dire que, au premier instant, les deux rigidités sont égales. La rigidité apparente R diminue quand ε, β, t augmentent. Pour $t = \infty$, elle devient $E\frac{\lambda}{\varepsilon}$, d'où l'on tire

$$F_\infty = R_\infty \varepsilon = E\lambda,$$

c'est-à-dire que le ressort final du liquide est égal au ressort qui correspond à la déformation limite. Désignons par τ le temps pendant lequel ρ prend l'accroissement égal à l'unité, la différence $\alpha - \lambda$ étant égale à l'unité aussi.

En vertu de la définition de β, on a

$$(6_a) \qquad \beta = \frac{1}{\tau}.$$

J'appellerai τ *module* de relaxation. C'est la période pendant laquelle la déformation résiduelle ρ croît de l'unité, la différence $\alpha - \lambda$ étant égale aussi à l'unité; β est la vitesse de relaxation. En

substituant τ, les lois (5) et (6) prennent la forme

$$\rho = \varepsilon\left(1 - \frac{\lambda}{\varepsilon}\right)\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \tag{7}$$

$$R = E\left[\frac{\lambda}{\varepsilon} + \left(1 - \frac{\lambda}{\varepsilon}\right)e^{-\frac{t}{\tau}}\right], \tag{8}$$

Il s'agit de vérifier ces lois.

Remarquons que dans notre expérience l'effort extérieur est représenté par l'élasticité du fil de suspension; R doit donc être proportionnel à l'angle de torsion δ du fil. Posons $R = p\delta$, où p est une constante, et posons, pour abréger,

$$\frac{E\lambda}{p\varepsilon} = a, \qquad \frac{\varepsilon}{\lambda} - 1 = b.$$

La formule (8) devient

$$\delta = a\left(1 + be^{-\frac{t}{\tau}}\right). \tag{8$_a$}$$

Les quantités δ et t sont données par la Table de l'expérience. On pourrait se servir de la méthode des moindres carrés, pour calculer les constantes a, b, τ. Mais cette méthode nous aurait entraînés à des difficultés presque insurmontables, vu la forme compliquée de l'équation (8_a). Nous allons prendre une voie plus expéditive, quoique moins précise.

En posant dans la formule (8_a) $t = \infty$, on a

$$\delta = a.$$

Or l'expérience nous montre que, au bout de quarante-huit minutes, δ devient constante et égale à 37. Donc $a = 37$. Ensuite, en substituant dans (8_a) $t = 0$, on a

$$\delta = a(1 + b) = 37(1 + b).$$

Mais, d'après l'expérience, on a $\delta = 81$ pour $t = 0$. Donc, $81 = 37(1 + b)$. Par conséquent $b = 1,189$. La formule (8_a) devient

$$\delta = 37\left(1 + 1,189e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \tag{8$_b$}$$

On tire de cette équation

$$(8_c) \qquad \log\left(e^{-\frac{1}{\tau}}\right) = \frac{1}{t}[\log(\delta - 37) - 1,6434].$$

En substituant dans cette équation les valeurs de δ et t tirées de l'expérience, on obtient une série de valeurs pour $\frac{1}{\tau}$. La moyenne de ces valeurs, substituée dans (8_b), donne à cette équation la forme définitive

$$(9) \qquad \delta = 37(1 + 1,189e^{-0,0729t}),$$

qui nous permet de calculer δ pour un temps quelconque t. Le Tableau suivant renferme les résultats de tous ces calculs :

t.	$\frac{1}{\tau} = \beta$.	δ calculée.	δ observée.
0,0	»	81,0	81
7,0	0,0741	63,4	63
14,6	737	52,2	52
22,0	721	45,8	46
28,0	712	42,7	43
36,5	736	40,1	40
48,0	»	38,3	37
90,0	»	37,1	37
Moyenne...	0,0729		

L'accord entre la théorie et l'expérience est si évident, qu'il ne laisse aucun doute sur la justesse de l'hypothèse que nous avons formée au début de ce Chapitre. La vitesse β est bien une constante, et il en est de même du module τ.

Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude des composés formés par l'action des molybdates neutres de magnésie et de lithine sur les solutions d'acide tartrique; par M. D. Gernez.

J'ai signalé, dans des Communications antérieures (1), l'augmentation considérable qu'éprouve le pouvoir rotatoire de certains composés actifs lorsqu'on met leurs solutions en contact avec divers corps sans action propre sur la lumière polarisée et j'ai montré le parti que l'on pouvait tirer de cette augmentation pour mettre en évidence des composés qui se produisent dans les solutions, non pas entre des quantités quelconques, mais entre des nombres simples d'équivalents des substances dissoutes.

Cette méthode d'investigation présente divers avantages : 1° le rayon de lumière polarisée qui traverse la solution renseigne sur les changements qu'elle éprouve sans lui faire subir aucune modification; 2° si la réaction qui se produit au moment où l'on met dans le liquide les corps en contact n'est pas totale immédiatement, on peut facilement suivre les progrès qu'elle fait avec le temps et en déterminer la limite s'il y a lieu; 3° au contraire, dans le cas où la réaction est totale dès les premiers instants, il suffit, pour en faire l'étude, d'employer avec un poids constant de l'une des substances des poids progressivement croissants de l'autre, dans un volume total de liquide que l'on ramène, dans chaque expérience, à une même valeur, et de mesurer le pouvoir rotatoire de la solution.

Les expériences dont je vais indiquer les résultats rentrent dans ce dernier cas : elles sont analogues aux précédentes, elles ont été effectuées par les procédés que j'ai décrits et ont porté sur les combinaisons qui se produisent entre l'acide tartrique et les molybdates neutres de magnésie et de lithine.

Action du molybdate neutre de magnésie sur les solutions d'acide tartrique. — Dans chaque expérience, j'ai employé

(1) *Séances de la Société de Physique,* année 1887, p. 70 et 204, et année 1888, p. 191.

$1^{gr},250$ d'acide tartrique, j'y ai ajouté des poids de molybdate neutre de magnésie croissant depuis $\frac{1}{24}$ d'équivalent jusqu'à 5 équivalents avec la quantité d'eau nécessaire pour que, dans chaque solution, le volume total fût 50^{cc} mesurés à la température de 16°, maintenue constante dans toutes les expériences. On a observé les rotations produites par le passage de la lumière du sodium dans un tube de $105^{mm},7$ de longueur (¹). La rotation donnée par la solution d'acide tartrique seul était de 0° 22′. L'observation de trente-six solutions a conduit aux nombres compris dans le Tableau suivant :

Poids de molybdate de magnésie en grammes.	Poids de sel en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations de la rotation pour des poids égaux de sel.
		° ′	′
0,0476.....	$\frac{1}{2}$	0.38	32,0
0,0953.....	1	0.53	30,0
0,1906.....	2	1.25	32,0
0,2859.....	3	1.55	30,0
0,3812.....	4	2.25	30,0
0,4766.....	5	2.55	30,0
0,5719.....	6	3.26	31,0
0,6672.....	7	3.57	31,0
0,7625.....	8	4.29	32,0
0,8578.....	9	5. 0	31,0
0,9531.....	10	5.32	32,0
1,0484.....	11	6. 4	32,0
1,1438.....	12 = $1^{éq}$	6.33	29,0
1,2391.....	13	7.11	38,0
1,3344.....	14	7.47	36,0
1,4297.....	15	8.25	38,0
1,5250.....	16	9. 4	39,0
1,6203.....	17	9.44	40,0

(¹) Je crois devoir indiquer un dispositif qui m'a paru plus commode que ceux qu'on emploie pour obtenir une flamme très intense par volatilisation du sel marin fondu. J'emboutis une lame mince de platine de manière à lui donner la forme d'une nacelle de 4^{cm} à 5^{cm} de long; je replie la lame autour du bout d'un fil de platine et je soude les deux pièces par fusion au chalumeau oxyhydrique. Cette nacelle pleine de sel marin fondu est chauffée à l'aide d'un *bec plat* à mélange d'air et de gaz convenablement réglé. Cette source lumineuse observée dans le sens de la longueur est très intense et la nacelle est de très long usage.

Poids de molybdate de magnésie en grammes.	Poids de sel en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations de la rotation pour des poids égaux de sel.
1,7156.....	18	10°.24'	40',0
1,8109.....	19	11. 4	40,0
1,9063.....	20	11.38	34,0
2,0016..... ..	21	12.14	36,0
2,0969.....	22	12.47	33,0
2,1922.....	23	13.22	35,0
2,2875.....	24 = $2^{éq}$	13.50	28,0
2,3828..... .	25	13.49	— 1,0
2,4781.....	26	13.48	— 1,0
2,5734.....	27	13.46	— 2,0
2,6688.....	28	13.44	— 2,0
2,7641.....	29	13.42	— 2,0
2,8594.....	30	13.40	— 2,0
3,4313.....	36 = $3^{éq}$	13.27	— 2,0
4,0031.....	42	13.15	— 2,0
4,5750.....	48 = $4^{éq}$	13. 4	— 1,8
5,1469.....	54	12.53	— 1,8
5,7188.....	60 = $5^{éq}$	12.42	— 1,8

L'examen de ces nombres conduit aux remarques suivantes : 1° les rotations croissent de quantités égales pour des additions de poids égaux de molybdate neutre de magnésie jusqu'à ce que ce poids représente un équivalent; 2° elles continuent à croître, mais d'une quantité qui est d'un quart environ plus grande pour des additions de poids égaux de sel, lorsque la quantité totale est comprise entre 1 équivalent et $1^{éq},5$; 3° si cette quantité varie entre $1^{éq},5$ et 2 équivalents, les effets produits par des poids égaux de sel diminuent graduellement; 4° pour 2 équivalents de sel employés, la rotation atteint une valeur maxima; 5° si l'on continue à ajouter du sel à la solution, la rotation varie extrêmement peu et elle ne diminue que de $\frac{1}{12}$ de la valeur maxima lorsque la quantité totale de sel ajouté représente 5 équivalents.

On peut interpréter ces résultats comme il suit : dès la première addition de molybdate neutre de magnésie, il y a combinaison de la totalité du sel avec une partie équivalente de l'acide tartrique et formation du composé $C^8H^6O^{12}$; $MgOMoO^3$; la combi-

naison est complète lorsqu'on a ajouté 1 équivalent de sel; des quantités plus grandes de molybdate de magnésie transforment ce premier composé en un autre contenant deux fois plus de sel; la transformation est complète lorsqu'il y a en combinaison $C^8H^6O^{12},2(MgO,MoO^3)$, composé correspondant à une rotation 37,7 fois plus grande que celle de l'acide tartrique contenu et qui est très faiblement modifié par l'addition ultérieure de quantités de sel plus grandes que celle qu'il contient déjà.

Action du molybdate neutre de lithine sur les solutions d'acide tartrique. — Les expériences effectuées de la même manière avec le molybdate neutre de lithine conduisent aux résultats suivants :

Poids de molybdate neutre de lithine en grammes.	Poids de sel en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations de la rotation pour des poids égaux de sel.
0,0406.....	$\frac{1}{2}$	0°.40'	36',0
0,0813.....	1	1. 1	42,0
0,1625.....	2	1.39	38,0
0,2438.....	3	2.19	40,0
0,3250.....	4	2.58	39,0
0,4063.....	5	3.37	39,0
0,4875.....	6	4,17	40,0
0,5683.....	7	4,55	38,0
0,6500.....	8	5.31	36,0
0,7313.....	9	6. 9	38,0
0,8125.....	10	6.45	36,0
0,8938.....	11	7.20	35,0
0,9750.....	12 = 1^{éq}	7.55	35,0
1,0562.....	13	8.43	48,0
1,1375.....	14	9.28	45,0
1,2188.....	15	10. 8	40,0
1,3000.....	16	10.55	47,0
1,3813.....	17	11.35	40,0
1,4623.....	18	12.13	38,0
1,5438.....	19	12.41	28,0
1,6250.....	20	12.46	5,0
1,7063.....	21	12.46	0,0
1,7875.....	22	12.47	1,0

Poids de molybdate neutre de lithine en grammes.	Poids de sel en $\frac{1}{12}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations de la rotation pour des poids égaux de sel.
1,8688.....	23	12°.47′	0′,0
1,9500.....	24 = 2^{éq}	12.48	1,0
2,0313.....	25	12.34	— 12,0
2,1125.....	26	12.32	— 2,0
2,1940.....	27	12.31	— 1,0
2,2750.....	28	12.30	— 1,0
2,3563.....	29	12.28	— 2,0
2,4375.....	30	12.27	— 1,0
2,9250.....	36 = 3^{éq}	12.22	— 0,8
3,4125.....	42	12.12	— 1,6
3,9000.....	48 = 4^{éq}	12. 4	— 1,3
4,8750.....	60 = 5^{éq}	11.54	— 0,8

On reconnaît, à l'inspection de ces nombres, la production d'un composé formé d'équivalents égaux d'acide tartrique et de molybdate neutre de lithine; car, pour des additions de poids égaux de sel, la rotation augmente de quantités égales jusqu'à ce que le poids du sel ajouté représente 1 équivalent. Si l'on emploie des quantités de sel plus grandes, il y a une variation brusque dans l'augmentation de la rotation, qui atteint un maximum lorsque le poids de sel ajouté correspond à deux équivalents; la rotation maxima est trente-cinq fois celle que donnerait le corps actif contenu dans la solution. On peut conclure de là que le premier composé $C^8H^6O^{12}, LiO, MoO^3$ se transforme peu à peu en un autre dont la formule serait $C^8H^6O^{12}2(LiO, MoO^3)$, lequel n'éprouverait qu'une dissociation très faible lorsqu'on y ajouterait des quantités de sel allant au moins jusqu'à 5 équivalents.

Si l'on rapproche ces résultats de ceux que j'ai obtenus antérieurement avec le molybdate de soude, on trouve qu'ils présentent les analogies les plus complètes. Ainsi, dans ces divers cas : 1° les rotations sont rigoureusement proportionnelles aux poids de sel ajoutés jusqu'à ce que le poids atteigne 1 équivalent; 2° pour des poids compris entre 1 équivalent et 1^{éq},5, les quantités dont augmentent les rotations changent, en grandeur absolue, mais restent très sensiblement les mêmes pour des additions égales; 3° si le

poids de sel ajouté est compris entre $1^{éq},5$ et 2 équivalents, la rotation diminue graduellement et devient maxima lorsque la solution contient 1 équivalent d'acide tartrique et 2 équivalents de sel [1]; 4° si l'on emploie des quantités de sel plus grandes, la rotation diminue extrêmement peu.

Avec le molybdate d'ammoniaque, la quantité de sel qui correspond au maximum est, comme je l'ai déjà indiqué, celle qui contient un poids d'ammoniaque équivalent à celui de la soude du molybdate neutre.

Ces résultats sont de même nature que celui que j'ai signalé pour les combinaisons de l'acide tartrique avec les tungstates neutres de soude et de potasse, qui présentent un pouvoir rotatoire maximum lorsque 1 équivalent d'acide tartrique est uni à 2 équivalents de ces tungstates alcalins. On peut donc les résumer sous cet énoncé : *Les combinaisons les plus simples qui se produisent, en solutions aqueuses, entre l'acide tartrique et les molybdates neutres de soude, d'ammoniaque, de magnésie et de lithine, et les tungstates neutres de soude et de potasse et qui correspondent à un pouvoir rotatoire maximum sont formées de l'union* de l'acide avec le sel, molécule à molécule.

Recherches sur l'application de la mesure du pouvoir rotatoire à l'étude des combinaisons qui résultent de l'action de l'acide malique sur le molybdate d'ammoniaque; par M. D. Gernez.

J'ai appliqué à l'étude des combinaisons formées par l'action des solutions d'acide malique gauche sur les molybdates solubles les procédés d'investigation qui m'avaient permis de mettre en évidence les combinaisons formées dans les solutions d'acide tar-

---

[1] L'omission d'un facteur 2 dans la transcription des poids de sel employés m'a conduit à indiquer à tort (*Séances de la Société de Physique,* année 1887, p. 73 et 204, et année 1888, p. 191) que la rotation maxima correspond à 1 équivalent d'acide tartrique avec 1 équivalent de molybdate de soude ou $\frac{1}{3}$ d'équivalent de molybdate d'ammoniaque, au lieu de 2 équivalents ou de $\frac{2}{3}$ d'équivalent de ces deux sels.

trique avec ces divers corps, et j'ai obtenu des résultats caractérisés par une netteté presque aussi grande des phénomènes, avec plus d'intensité, d'imprévu et de variété dans les effets. Je vais exposer les faits relatifs à l'action du molybdate d'ammoniaque sur l'acide malique.

Dans toutes les expériences, j'ai employé des solutions contenant un poids constant d'acide malique, additionné de quantités de sel qui représentent des fractions d'équivalent exprimant des sous-multiples simples, avec la quantité d'eau nécessaire pour que le volume de l'ensemble eût une valeur constante à la même température. Quant aux poids absolus de matière, je les ai choisis de façon à rendre l'observation aussi facile et aussi précise que possible. La solution d'acide malique, contenant $1^{gr},1166$ dans un volume de 12^{cc} se prête très bien aux expériences, si le tube dans lequel on fait la mesure du pouvoir rotatoire n'est pas trop long : celui que j'ai employé avait $105^{mm},7$ de longueur.

Les mesures ont été faites à la température de 17°; à cette température, la solution d'acide malique non additionnée de sel présentait une rotation de $-0°12'$ par rapport à la lumière du sodium; les rotations observées avec les solutions additionnées de molybdate d'ammoniaque sont indiquées dans le Tableau suivant :

Poids de molybdate d'ammoniaque employés.	Fractions d'équivalent qu'ils représentent.	Rotations observées.	Variations pour $\frac{1}{48}$ d'équivalent.
gr		° ′	
0,0134.....	$\frac{1}{384}$	— 0.24	96
0,0268.....	$\frac{1}{192}$	— 0.36	96
0,0536.....	$\frac{1}{96}$	— 0.58	88
0,1073.....	$\frac{1}{48}$	— 1.42	88
0,1907.....	$\frac{1}{27}$	— 2.45	81
0,2146.....	$\frac{1}{24} = \frac{2}{48}$	— 3. 2	80
0,2861.....	$\frac{1}{18}$	— 3.49	71
0,3219.....	$\frac{1}{16} = \frac{3}{48}$	— 4. 9	67
0,4292.....	$\frac{1}{12} = \frac{4}{48}$	— 4.57	48
0,4682.....	$\frac{1}{11}$	— 5.10	36
0,5150.....	$\frac{1}{10}$	— 5.13	7
0,5365.....	$\frac{1}{9,6} = \frac{5}{48}$	— 5.15	1
0,5722.....	$\frac{1}{9}$	— 5.19	
0,6059.....	$\frac{1}{8,5}$	— 5.13	

Poids de molybdate d'ammoniaque employés.	Fractions d'équivalent qu'ils représentent.	Rotations observées.	Variations pour $\frac{1}{48}$ d'équivalent.
gr		° ′	′
0,6438.....	$\frac{1}{8} = \frac{6}{48}$	— 4.56	19
0,6867.....	$\frac{1}{7,5}$	— 4.31	
0,7357.....	$\frac{1}{7}$	— 4.10	
0,7510.....	$\frac{1}{6,85} = \frac{7}{48}$	— 3.55	61
0,7923.....	$\frac{1}{6,5}$	— 3.24	70
0,8583.....	$\frac{1}{6} = \frac{8}{48}$	— 2.21	102
0,9364.....	$\frac{1}{5,5}$	— 1. 0	111
0,9656.....	$\frac{1}{5,33} = \frac{9}{48}$	— 0.25	125
1,0300.....	$\frac{1}{5}$	+ 0.50	124
1,0729.....	$\frac{1}{4,8} = \frac{10}{48}$	+ 1.40	125
1,1444.....	$\frac{1}{4,5}$	+ 3.14	141
1,1802.....	$\frac{1}{4,36} = \frac{11}{48}$	+ 4. 3	171
1,2875.....	$\frac{1}{4} = \frac{12}{4,8}$	+ 7.12	189
1,3948.....	$\frac{13}{48}$	+ 10.21	189
1,5020.....	$\frac{14}{48}$	+ 13.25	184
1,6095.....	$\frac{15}{48}$	+ 17. 7	222
1,7166.....	$\frac{16}{48} = \frac{1}{3}$	+ 20.55	228
1,8240.....	$\frac{17}{48}$	+ 24.27	212
1,9312.....	$\frac{18}{48}$	+ 28. 7	220
2,0385.....	$\frac{19}{48}$	+ 32.23	256
2,1458.....	$\frac{20}{48}$	+ 36.13	230
2,2531.....	$\frac{21}{48}$	+ 39.57	224
2,3604.....	$\frac{22}{48}$	+ 43.47	230
2,4677.....	$\frac{23}{48}$	+ 48. 4	257
2,5750.....	$\frac{24}{48} = \frac{1}{2}$	+ 52.28	264
3,0042.....	$\frac{28}{43}$	+ 63.30	165
3,4333.....	$\frac{32}{48}$	+ 69.10	85
3,8625.....	$\frac{36}{48}$	+ 72. 0	42
4,2917.....	$\frac{40}{48}$	+ 72.32	8
4,7208.....	$\frac{44}{48}$	+ 72.40	2
5,1500.....	$\frac{48}{48} = 1$	+ 72.48	2
5,5792.....	$\frac{52}{48}$	+ 72.40	2
6,0083.....	$\frac{56}{48}$	+ 72.20	5
6,4375.....	$\frac{60}{48}$	+ 72. 0	5

L'examen de ces nombres conduit aux remarques suivantes :

1° L'addition progressive du sel à la solution d'acide malique

détermine une augmentation de la rotation dont la grandeur initiale — 0°12′ devient graduellement plus grande et atteint une valeur maxima de — 5°19′ qui représente trente-cinq fois la rotation que donnerait l'acide malique contenu dans la solution. Ce maximum correspond à une combinaison de 9 équivalents d'acide malique avec 1 équivalent de molybdate d'ammoniaque (ou de 18 molécules d'acide avec une molécule de sel); or 1 équivalent de molybdate d'ammoniaque contient 3 équivalents d'ammoniaque; la combinaison contient donc, pour 3 équivalents d'acide, un seul équivalent de base.

2° Pour des poids de sel plus grands que $\frac{1}{9}$ d'équivalent, la rotation rétrograde, passe de gauche à droite et augmente progressivement; une variation brusque dans l'augmentation se manifeste lorsque le liquide contient environ 3 équivalents d'acide pour 1 équivalent de sel.

3° Lorsque les quantités de sel ajoutées sont comprises entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{1}{2}$ équivalent, les rotations augmentent de quantités égales pour des poids égaux de sel ajoutés, ce qui indique la formation d'un composé qui contiendrait 2 équivalents d'acide malique pour un équivalent de molybdate d'ammoniaque ou un équivalent de sel pour 1,5 équivalent d'alcali.

4° Ce composé se détruirait pour des additions de sel dépassant $\frac{1}{2}$ équivalent et se transformerait en un autre de pouvoir rotatoire plus grand et formé d'équivalents égaux d'acide et de sel.

La valeur du maximum est de + 72°48′, valeur qui représente 364 fois la rotation que donnerait la quantité de la substance active qui se trouve dans le liquide.

5° Un examen attentif de la marche du phénomène montre qu'à l'origine des quantités très faibles de sel produisent des effets considérables; ainsi, l'addition de $\frac{1}{384}$ d'équivalent de molybdate d'ammoniaque double la rotation présentée par le liquide actif seul.

Cet effet diminue d'abord, pour des additions progressives; mais, lorsque le liquide contient $\frac{1}{7}$ d'équivalent de sel, l'effet produit a repris une valeur plus grande que la valeur initiale, et, lorsque la quantité de sel ajoutée atteint $\frac{1}{2}$ équivalent, il suffit de l'augmenter de la quantité minime représentée par $\frac{1}{1056}$ d'équiva-

lent pour que la rotation croisse d'une valeur égale à celle que produirait l'acide actif contenu dans la solution.

6° On peut enfin remarquer que la solution contenant, pour un équivalent d'acide malique, un poids de molybdate d'ammoniaque représentant environ $\frac{1}{5,2}$ d'équivalent ne dévie ni à droite ni à gauche le plan de polarisation de la lumière.

SÉANCE EXTRAORDINAIRE DU 19 JUILLET 1889,

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 juillet est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées, attaché au Service des phares, à Paris,

M. Abdank-Abakanowicz a bien voulu se charger de présenter à la Société la très curieuse série d'expériences envoyées à l'Exposition universelle par M. le Professeur *Elihu Thomson*.

La plupart de ces appareils sont ceux-là mêmes qui ont servi aux recherches de l'éminent physicien américain.

Il montre d'abord les phénomènes relatifs à la répulsion électro-inductive.

Un bon conducteur placé dans un champ magnétique alternatif est repoussé, au lieu d'être soumis à des attractions et répulsions alternatives. Ce phénomène est dû au retard de phase du courant induit sur le courant inducteur, retard provenant de la self-induction.

M. Abdank fait fonctionner successivement plusieurs appareils mettant en évidence ce phénomène.

On a passé ensuite aux phénomènes de rotation de disques et de sphères dans un champ magnétique alternatif, lorsque ces corps se trouvent partiellement dans l'ombre produite par un écran bon conducteur recouvrant une partie du pôle de l'électro-aimant.

Les nouveaux transformateurs de M. Thomson ont été ensuite présentés et l'on fait l'expérience avec un modèle de transformateur, lequel, placé sur un circuit à potentiel constant, fournissait un courant constant dans le circuit secondaire. Ce résultat est obtenu par une dérivation magnétique,

qui agit automatiquement et règle le flux de forces dans le circuit magnétique secondaire.

Les nouveaux moteurs à courants alternatifs basés sur le principe de la répulsion ont été mis en marche.

Les membres de la Société sont ensuite passés dans la galerie des machines, où l'on a fait des expériences de la soudure électrique. On a soudé des barres de fer de 5^{cm} de diamètre, en les mettant au contact, bout à bout, et en laissant passer un courant alternatif de 26000 ampères environ. Ce courant a été fourni par un transformateur spécial.

SÉANCE DU 15 NOVEMBRE 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 19 juillet est lu et adopté.

M. le Président prononce les paroles suivantes :

Depuis notre dernière séance, nous avons eu le regret de voir disparaître plusieurs membres de la Société.

M. *Joule,* qui était membre honoraire de notre Société depuis sa fondation, vient de s'éteindre dans sa 71e année, après une des existences les plus fécondes pour les progrès de la Science. Il a été l'un des fondateurs de la théorie mécanique de la chaleur; la longue série d'expériences qu'il a instituées pour déterminer, à différentes reprises, la chaleur dégagée dans le frottement des liquides, compte encore aujourd'hui parmi celles qui ont donné l'évaluation la plus rapprochée de l'équivalent mécanique.

M. Joule a attaché aussi son nom à une découverte capitale en établissant une relation entre l'échauffement d'un conducteur et l'intensité du courant qui le traverse. C'est en réalité la loi de transmission de l'énergie électrique, qui sert encore de base à la théorie de l'induction.

Plusieurs autres travaux importants de Chimie et de Physique suffiraient à fonder la réputation d'un savant; ils sont un peu éclipsés par l'éclat des œuvres de premier ordre que je viens de rappeler.

M. Joule avait été d'abord industriel, et il n'y pas lieu de s'étonner beaucoup que son amour pour la Science ne l'ait pas conduit à la fortune. En 1878, il reçut sur la liste civile une pension de 200 livres qui lui permit de se livrer, dans une sorte de retraite aux environs de Manchester, à l'achèvement de ses recherches scientifiques. Il y était entouré de l'estime publique et jouissait dans la plus grande simplicité de sa gloire universelle. En ce qui me concerne, je conserverai le souvenir précieux d'une visite à son cottage, où j'eus l'honneur d'être reçu par un petit vieillard à longue barbe, d'un esprit pétillant, plein d'abandon et de bonne humeur, au milieu du

matériel presque primitif qui lui avait servi pour établir quelques-unes des plus grandes lois de la Philosophie naturelle.

La mort de M. *Govi* compte pour ainsi dire comme une perte de famille. Il était à l'origine de nos réunions, et nous avons eu souvent la satisfaction de l'entendre sur des sujets très variés, où il apportait toujours des appareils ou des aperçus ingénieux. Il avait une compétence particulière dans les questions qui touchent à l'histoire de la Science, et il s'est attaché à mettre en évidence, avec un rare sentiment d'équité, le véritable rôle des savants de sa Patrie. La collection des instruments historiques ayant servi aux recherches de Galvani, de Volta, de Nobili, etc., qu'il rassembla pour l'exposition internationale d'Électricité en 1881, présentait le plus vif intérêt, en même temps qu'elle témoignait de son culte pour les grandes illustrations d'Italie.

Je signalerai aussi le nom d'un savant modeste, M. *Bourbouze,* dont la carrière n'a pas été dépourvue de déceptions et d'amertumes. Comme préparateur du cours de Physique à la Faculté des Sciences, M. Bourbouze a contribué pour une grande part à l'éclat des expériences dont la plupart d'entre nous ont été les témoins au début de notre carrière. Il était alors l'aide nécessaire des soirées scientifiques de la Sorbonne, où il se contentait, en se cachant derrière ses appareils, du remerciement obligé et traditionnel que ne manquait pas de lui adresser le conférencier. Pendant le siège de Paris, il imagina une méthode très ingénieuse pour établir une communication électrique par le cours de la Seine avec des points situés en dehors de la ligne d'investissement; il n'est peut-être pas superflu, au moins pour les plus jeunes, de rappeler avec quelle ardeur et quel dévouement d'Almeida s'était consacré à cette périlleuse entreprise. M. Bourbouze était ensuite devenu constructeur d'instruments de Physique; mais il avait trop le goût des expériences et le désir d'être utile aux autres pour en tirer un profit sérieux. Une santé prématurément ébranlée a d'ailleurs singulièrement troublé son existence. Je suis heureux de pouvoir traduire ici, au nom de la Société, notre sentiment de vive sympathie pour la mémoire d'un homme de bien qui a toujours été à la peine.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi des Notes suivantes de M. E. Delaurier : 1° *Considérations politiques et économiques sur l'admirable Exposition de* 1889; 2° *Pétition présentée à la Chambre des Députés.*

M. Colassot adresse de Francheville (Rhône) une réclamation de priorité au sujet de la balance présentée par M. *P. Curie*, dans la séance du 5 avril 1889. M. Colassot dit que son système, conçu dans le même esprit que celui de M. Curie, a été breveté en 1880 et qu'on peut en voir un spécimen dans les magasins de M. Démichel.

M. P. Curie, à qui la lettre de M. Colassot a été communiquée, a été voir chez M. Démichel la balance de M. Colassot et a trouvé qu'elle n'avait rien de commun avec la sienne.

M. Wuilleumier rend compte de la détermination de l'ohm qu'il a effectuée par la méthode électrodynamique proposée par M. *Lippmann*.

Un cadre mobile recouvert de fil fin tourne avec une vitesse uniforme v autour d'un diamètre vertical; il est placé à l'intérieur d'une bobine fixe parcourue par un courant d'intensité i, lequel circule en même temps dans le conducteur dont on veut déterminer la résistance. Le circuit induit est fermé au moment où la force électromotrice développée dans le cadre passe par sa valeur maxima, et cette force est alors opposée à la différence de potentiel qui existe entre les deux points extrêmes A et B du conducteur; on choisit ces derniers de façon que les deux forces opposées s'annulent, ce que l'on constate au moyen d'un électromètre sensible.

Si S désigne la surface enveloppée par le fil induit, n le nombre de spires par centimètre de la bobine fixe, et si cette dernière est supposée infiniment longue, la valeur de la résistance que l'on détermine est donnée par la relation

$$R = 8\pi^2 S n v.$$

L'emploi d'une bobine infiniment longue peut être évité en déplaçant une bobine de longueur finie.

Celle qui a servi aux expériences a 2^m de longueur sur $0^m,30$ de diamètre; elle est formée d'une seule couche de 922 spires de fil de cuivre de 2^{mm} de diamètre; sa constante $n = 4\,633$ a été déterminée au cathétomètre.

Le cadre tournant qui porte 303 tours de fil fin a été mesuré au comparateur universel du Bureau international des Poids et Mesures par les soins de MM. Chappuis et Palaz; la surface totale enveloppée par le fil est de $96\,805^{cm^2},75$.

La rotation de ce cadre est produite par un moteur magnéto Gramme actionné par une batterie d'éléments Bunsen, et son mouvement est réglé par la méthode stroboscopique et un frein à ficelle sur le mouvement vibratoire d'un diapason entretenu électriquement et enregistré sur un tambour Marey. La vitesse du cadre a toujours été de 8525 tours par seconde.

Un courant constant circulant dans une bobine fixée au bâti de l'appareil établit la neutralisation du champ terrestre.

Le conducteur dont on a déterminé la résistance est un ruban de maillechort de $34^m,72$ de longueur, 1^{cm} de largeur et 3^{mm} d'épaisseur, placé dans un bain de pétrole. Les prises de potentiel aux points A et B se font à l'aide de tiges de cuivre platinées.

Le courant primaire, dont l'intensité est d'environ 10 ampères, est fourni par une batterie d'accumulateurs soigneusement isolée.

Toutes les mesures ont été ramenées à la température de 19°C., et la résistance, comprise entre les points A et B du conducteur, a été trouvée égale à

$$R = 0,301889 \times 10^9.$$

Elle a été ensuite mesurée en ohms légaux, au Bureau international des Poids et Mesures, à l'aide de trois étalons au mercure, groupés en quantité,

et mis obligeamment à notre disposition par M. Benoît; la valeur obtenue est de

$$R_1 = 0^{\omega},302653.$$

On déduit de ces deux nombres la valeur de l'ohm vrai qui est représenté par la résistance à 0° d'une colonne de mercure de 1^{mmq} de section et $106^{cm},27$ de longueur.

Ce nombre est très voisin de la moyenne 106,29 des résultats obtenus depuis 1887 par MM. Rowland, Kohlrausch, Dorn, Glazebrook et Fitzpatrick.

A propos du résumé historique de M. Wuilleumier, M. Guillaume fait remarquer que M. Wild n'a pas fait de nouvelles déterminations de l'ohm; c'est en appliquant plusieurs corrections à son ancienne valeur (105,68) qu'il est arrivé au nombre 106,18. L'une de ces corrections provient d'un défaut de construction dans les anciennes boîtes de Siemens; la dernière, indiquée par M. Dorn, est nécessitée par le magnétisme induit dans les aimants. M. Dorn a donné le minimum de la correction (positive) résultant de ce phénomène; le nombre 106,18 est donc le minimum auquel conduisent les expériences de M. Wild.

M. Lippmann insiste sur la grande sensibilité de cette méthode, qui donne une erreur relative inférieure à $\frac{1}{3000}$, et sur l'avantage des bobines à *une seule couche de fil* dont le nombre de tours par unité de longueur et la surface totale peuvent être déterminés avec une grande précision et autant de fois que l'on veut.

L'emploi de l'électromètre capillaire permet l'usage de fil fin et long pour la bobine induite, ce qui augmente la sensibilité (grande surface) et la précision (diamètre moyen parfaitement déterminé).

M. Mascart voit avec plaisir que les expériences de M. Wuilleumier confirment la valeur 106,27, moyenne des résultats obtenus antérieurement, et rappelle que les membres français des Congrès de 1881 et 1884 avaient proposé d'adopter le nombre 106,25, qui ne diffère, comme on le voit, du nombre exact que de $\frac{1}{5000}$, tandis que l'erreur de l'ohm légal est de $\frac{1}{400}$

M. Lucien Poincaré communique les premiers résultats de recherches qu'il a entreprises sur la mesure de la conductibilité électrique des électrolytes à hautes températures.

Dans un travail antérieur, M. Bouty et lui avaient, à l'aide d'une méthode générale éliminant l'influence des phénomènes de polarisation et les dérivations électriques à travers les tubes de verre servant aux expériences, mesuré la conductibilité des azotates de potasse et de soude et des mélanges que ces deux sels forment en toutes proportions.

Jusqu'à la température de fusion du verre, l'auteur a employé la même méthode, sauf quelques modifications de détail. Dans un certain nombre de cas, il a employé avec grand avantage des électrodes principales et parasites en argent. Il a, en effet, constaté que la polarisation d'une électrode

d'argent dans un sel fondu tel que l'azotate de potasse, d'abord très considérable, tombe à zéro si l'on vient à ajouter au sel en fusion une trace d'azotate d'argent; c'est une extension des phénomènes étudiés par M. Lippmann dans le cas des dissolutions salines; cette dépolarisation n'est pas un fait absolument général, mais dans le cas des azotates, elle est extraordinairement sensible.

Lorsqu'on dépasse la température de fusion du verre, on rencontre un grand nombre de difficultés; plusieurs procédés ont été employés pour les éliminer. Le plus simple et celui qui a fourni les meilleurs résultats consiste à plonger verticalement un tube de porcelaine de Bayeux dans un creuset plein de sel fondu. Une électrode d'argent est maintenue dans l'intérieur du tube à une certaine distance au-dessous du niveau du liquide; la seconde électrode, également en argent, est fixée à la base inférieure du tube; deux fils d'argent permettent de prendre la différence de potentiel aux deux extrémités de la colonne cylindrique parcourue par le courant.

Le système ainsi constitué peut être maintenu à une température bien définie et lentement variable; les variations de niveau dans le creuset n'ont pas d'influence sur les mesures. Les températures ont été mesurées avec un couple de M. Le Chatelier gradué avec soin; les mesures absolues ont été obtenues par comparaison avec des dissolutions.

On a pu ainsi mesurer les conductibilités du chlorure de potassium et du chlorure de sodium. Une formule linéaire

$$c_t = c[1 + \alpha(t - \theta)]$$

représente très bien les expériences relatives à tous les sels étudiés; on a mis en évidence la température moyenne θ de chaque série d'expériences, de sorte que, si la fonction qui lie la température et la conductibilité n'est pas rigoureusement linéaire, l'équation écrite représente, en tous cas, avec une grande exactitude la tangente au point θ.

Les densités des sels fondus ont été prises au voisinage de la même température θ; l'on peut remarquer que pour tous le produit de cette densité par le coefficient α a la même valeur.

La connaissance de cette densité permet de calculer les conductibilités moléculaires des sels sur lesquels on a fait des mesures. On constate ainsi que le rapport de la conductibilité moléculaire du chlorure de potassium à celle du chlorure de sodium (rapport indépendant de la température) est le même que le rapport de la conductibilité de l'azotate de potasse à celle de l'azotate de soude.

Si l'on mêle deux sels sans action chimique de conductibilité c_t et c'_t, la conductibilité du mélange est représentée par la formule

$$c''_t = \frac{p c_t + q c'_t}{p + q},$$

où p et q représentent les volumes des deux corps mêlés.

L'auteur a fait aussi quelques mesures sur les sels à l'état solide qui con-

duisent encore très bien aux hautes températures; mais le coefficient de variation avec la température est alors beaucoup plus grand.

Il a dû aussi, pour corriger les nombres obtenus pour les sels fondus, étudier la conductibilité de la porcelaine; les mesures ont été faites avec des tubes de porcelaine de Bayeux fermés par un bout; on a employé pour électrodes des sels fondus dans lesquels plongent des lames d'argent, et on prend la différence de potentiel entre l'extérieur et l'intérieur du tube au moyen de fils également en argent; les erreurs dues aux phénomènes de polarisation sont ainsi complètement évitées. La conductibilité entre 300° et 1000° est représentée très exactement par une formule parabolique.

On remarque que cette conductibilité varie très rapidement avec la température. En terminant, M. Poincaré fait observer que cette variation permettrait de repérer concurremment avec un couple Le Chatelier les températures élevées. Une différence de 10°, qui est à peine indiquée par le couple, pourrait être divisée facilement en une vingtaine de températures distinctes. La formule interpolée permettrait de calculer ces températures; malheureusement, le procédé serait peut-être trop compliqué.

M. Mascart fait remarquer qu'il serait très intéressant de connaître la variation de la résistance électrique de la porcelaine aux températures élevées et de l'appliquer à la mesure de ces températures.

M. Le Chatelier ajoute qu'il y aurait lieu de préciser la nature de cette porcelaine; car sa composition et, par suite, ses propriétés dépendent de l'usage auquel on la destine. Il rappelle le procédé de Barus qui consiste à mesurer les températures élevées par la pression nécessaire pour faire écouler de l'air à travers un tube capillaire en argent : la pression croît comme la puissance $\frac{3}{2}$ de la température.

Détermination de l'ohm par la méthode électrodynamique de M. Lippmann; par M. H. Wuilleumier.

La méthode électrodynamique de M. Lippmann [1] pour déterminer l'ohm est une méthode de zéro dont voici le principe.

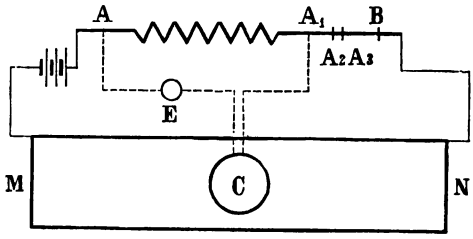
Un cadre mobile C, recouvert de fil fin, tourne avec une vitesse uniforme autour de son diamètre vertical; il est placé à l'intérieur d'une bobine fixe MN, parcourue par un courant constant, qui circule en même temps dans le conducteur dont il s'agit de déter-

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. XCVI, p. 1348.

miner la résistance. Le circuit induit est fermé au moment où la force électromotrice développée dans le cadre passe par sa valeur maxima, et cette force est alors compensée par la différence de potentiel qui existe entre deux points A et B du conducteur.

Fig. 1.



Si S désigne la surface enveloppée par le fil induit, V la vitesse de rotation du cadre, n le nombre de spires par centimètre de la bobine fixe, cette dernière étant supposée infiniment longue, la valeur R de la résistance entre les points A et B du conducteur est donnée par la formule

$$R = 8\pi^2 S n v.$$

En mesurant ensuite cette résistance en ohms légaux, on obtiendra par comparaison la valeur de l'ohm théorique.

L'emploi d'une bobine fixe infiniment longue peut être évité d'une manière très simple. On met d'abord le cadre mobile au centre d'une bobine fixe de 2^m de longueur, par exemple, et l'on obtient les points A et A_1 comme il a été dit. Puis, laissant le cadre mobile à sa place, on amène la bobine primaire dans une seconde position qui est le prolongement de la première et l'on obtient sur le conducteur un segment A_1A_2 qui est l'accroissement subi par AA_1 lorsque la bobine s'allonge de 2^m. Un nouveau déplacement d'égale longueur dans le même sens fournit un second segment A_2A_3 qui s'ajoute au premier, et ainsi de suite; on arrive promptement à des segments négligeables par rapport à AA_1.

La correction due au prolongement de la bobine dans l'autre sens est égale à la somme de ces segments, et, en ajoutant cette quantité à AA_3, on obtient une longueur AB du conducteur don la résistance est exprimée par la formule ci-dessus.

Cette méthode très simple, qui n'exige aucun calcul de réduction ou de correction, présente quelque analogie avec la méthode de Lorenz et supprime totalement deux graves inconvénients de cette dernière : la petitesse de la force électromotrice développée par l'induction et la production de forces thermoélectriques au contact des pièces glissantes. Elle permet en outre de faire usage de courants relativement intenses, et d'un galvanoscope dont la sensibilité n'ait rien d'exagéré; de plus l'ensemble du dispositif et en particulier le mode de construction des deux bobines, qui n'ont qu'une seule couche de fil chacune, se prêtent à une détermination précise des constantes qui entrent dans la formule de la résistance à mesurer.

Notons en passant que le cadre tournant a déjà été appliqué par M. Carey Foster à la mesure des forces électromotrices instantanées.

Nous avons déterminé l'ohm par cette méthode, au moyen d'un appareil construit sur les plans de M. Lippmann avec les crédits alloués par le Ministère des Postes et Télégraphes; les mesures ont été effectuées au Laboratoire des recherches de la Sorbonne en 1887 et 1888, et MM. A. Berget, docteur ès Sciences, et G. Léon, ingénieurs des Mines, nous ont prêté leur bienveillant concours.

MM. P. Chappuis et A. Palaz, attachés au Bureau international des Poids et Mesures, se sont gracieusement chargés de déterminer les dimensions de la bobine induite à l'aide du comparateur universel de cet établissement. M. Benoît, directeur de ce même Bureau, a mis très obligeamment à notre disposition les instruments dont il a fait usage pour la construction des étalons prototypes de l'ohm légal, ainsi que les copies de ce dernier.

Il nous a été ainsi possible de comparer directement à l'ohm légal la résistance que nous avions déterminée en unités absolues et d'éviter les erreurs résultant de la comparaison avec un étalon secondaire pouvant avoir subi quelques variations depuis sa construction.

Ces deux déterminations très importantes ont ainsi été faites dans les meilleures conditions.

Description des appareils. — La bobine inductrice a 2^{m} de longueur et 30^{cm} de diamètre; elle est formée d'une seule couche

de fil de cuivre de 2^{mm}, recouvert d'une double enveloppe de soie et enroulé sur un cylindre de laiton de 3^{mm} d'épaisseur; ce dernier est séparé du fil par de l'arcanson et du papier Japon verni à la gomme laque. Le nombre des spires est de 922 et les extrémités du fil aboutissent à des bornes isolées sur des plaques d'ébonite. La bobine est montée sur roues et se déplace sur des rails en bois, pour être amenée dans les diverses positions qui servent à trouver expérimentalement la correction des extrémités.

La constante de cette bobine, c'est-à-dire le nombre de spires par centimètre est,

$$n = 4,633.$$

Cette valeur a été obtenue en mesurant au cathétomètre la longueur occupée par 225 spires de chaque côté du plan médian.

Un bâti très massif supporte une pièce cylindrique en bois dur, pénétrant dans l'intérieur de la bobine inductrice; à son extrémité se trouve la bobine induite, fixée dans une chape et tournant autour de son diamètre vertical. Le mouvement de rotation lui est communiqué par un arbre de laiton de $1^{m},50$ de longueur, logé à l'intérieur de la pièce de bois, et par un engrenage conique dont les roues sont en carton comprimé; l'une est fixée à l'extrémité de l'arbre; l'autre, à la partie inférieure de la chape.

Deux pièces coniques en laiton sont disposées dans le prolongement de l'axe de rotation du cadre; l'une repose dans une crapaudine en agate et l'autre pivote dans un cylindre de bronze que l'on abaisse plus ou moins jusqu'à ce que cet axe ait un serrage convenable. On peut en outre déplacer verticalement la crapaudine, afin de faire coïncider le centre du cadre tournant avec l'axe de la bobine inductrice.

Le cadre tournant est un disque de bois dur de 20^{cm} de diamètre et 5^{cm} de largeur, sur lequel sont enroulés 303 tours de fil de cuivre très fin, recouvert de soie et verni à la gomme laque.

Le diamètre de ce cadre a été mesuré au comparateur universel du Bureau international des Poids et Mesures par MM. Chappuis et Palaz. Voici les résultats des mesures de trois diamètres équidistants, sur chacune des faces, en visant le milieu du fil :

Première série.

	cm	cm	cm
Première face.....	20,1699	20,1829	20,1610
Seconde face	20,1694	20,1828	20,1688
Moyennes	20,16965	29,18285	20,1649

Moyenne.. ..... $20^{cm},1725$.

Seconde série.

	cm	cm	cm
Première face.....	20,1628	20,1730	20,1569
Seconde face	20,1710	20,1814	20,1601
Moyennes	20,1669	20,1772	20,1585

Moyenne..... $20^{cm},1675$.

Ces deux séries donnent comme valeur moyenne du diamètre

$$d = 20^{cm},1700.$$

En mesurant ensuite le diamètre du cadre, sans le fil, on a trouvé :

	cm		cm
	20,1584		20,1371
	20,1579		20,1534
	20,1608		20,1654
Moyenne.....	20,1590	Moyenne.....	20,1520

La moyenne de ces séries est

$$d_1 = 20^{cm},1555.$$

Si l'on ajoute à ce nombre l'épaisseur du fil

$$0^{cm},0125,$$

déterminée au sphéromètre, on trouve pour le diamètre

$$d = 20^{cm},1680,$$

valeur extrêmement voisine du chiffre obtenu précédemment.

Nous avons admis la moyenne de ces deux nombres comme diamètre moyen du cadre, soit

$$d = 20^{cmq},169,$$

et la surface enveloppée par les 303 tours du fil de la bobine induite est égale à

$$S = 96805^{cmq},73.$$

Les deux extrémités du fil de cette bobine aboutissent à deux pièces de laiton fixées sur une bague d'ébonite, à la partie supérieure de la chape; celles-ci sont disposées suivant le même diamètre et font saillie de quelques millimètres. Pendant la rotation du cadre, deux balais en clinquant se trouvent un instant en contact avec ces deux pièces de laiton et forment le circuit secondaire au moment où la force électromotrice induite dans le cadre atteint sa valeur maxima; celle-ci se trouve alors en opposition avec la différence de potentiel entre deux points du conducteur. Les balais sont reliés aux appareils de mesure par des fils de cuivre isolés à la gutta et fixés sur des supports en ébonite placés sur le bâti.

A l'extrémité de la pièce de bois, près du cadre tournant, se trouve une bobine dans laquelle on envoie un courant constant pour neutraliser l'action du champ magnétique terrestre. Un rhéostat permet d'en graduer l'intensité jusqu'à ce que l'on obtienne une compensation absolue; celle-ci est facile à réaliser et peut être vérifiée à chaque instant pendant le cours des mesures, car l'électromètre placé dans le circuit secondaire doit rester au zéro lorsque le circuit primaire est ouvert.

La rotation du cadre est produite par un moteur magnéto-électrique à anneau Gramme, actionné par une batterie d'accumulateurs. Son axe est relié par un double joint Cardan à l'arbre de laiton, qui pénètre à l'intérieur de la bobine inductrice jusqu'aux engrenages de la chape; le mouvement de rotation est régalarisé par un fort volant en bois fixé sur cet arbre.

Ce moteur était muni d'un régulateur électrique à force centrifuge qui interrompait le courant des accumulateurs dès que la vitesse dépassait une certaine valeur, et le rétablissait ensuite quand celle-ci avait quelque peu diminué : on espérait obtenir de cette manière une vitesse très constante.

Ce dispositif donne d'excellents résultats quand on n'exige du moteur qu'un travail relativement faible et quand les frottements sont presque nuls ou du moins ne subissent aucune variation. Nous nous sommes rendu compte de sa valeur par des essais comparatifs à l'aide de la méthode stroboscopique, qui s'applique spécialement à ce genre de mesures. Nos observations ont été faites avec un mouvement d'horlogerie muni d'un régulateur Foucault, un diapason entretenu électriquement et le moteur électrique

marchant à vide; elles ont démontré la grande supériorité de ce dernier au point de vue de la régularité de sa vitesse pendant une durée de plusieurs heures.

Mais, lorsqu'il s'agit de communiquer un mouvement rapide à plusieurs mobiles reliés par de longs arbres et par des engrenages, le régulateur électrique ne fonctionne pas avec une promptitude suffisante; il n'a pu être utilisé pendant le cours des expériences, et toutes les tentatives faites pour assurer automatiquement la régularité de la vitesse sont demeurées infructueuses.

On obtient par contre d'excellents résultats en employant un frein formé d'une petite corde enroulée sur l'arbre et manœuvré à l'aide d'un levier par un expérimentateur. De cette manière, il est aisé de régler la vitesse du cadre tournant sur celle d'un diapason entretenu électriquement, en se servant de la méthode stroboscopique. A cet effet, les deux branches du diapason portent deux plaques légères fendues chacune suivant une ligne horizontale et disposées de façon que les fentes se trouvent un instant en face l'une de l'autre pendant chaque vibration de l'instrument. En visant à travers celle-ci le pourtour du volant sur lequel sont tracées 32 bandes égales, alternativement blanches et noires, on le voit immobile quand sa vitesse est un multiple exact de celle du diapason, et il paraît animé d'un mouvement lent dès que sa vitesse varie.

A l'aide du frein, on parvient aisément à régler la vitesse du moteur sur celle du diapason et à la maintenir absolument constante pendant plusieurs minutes, et comme la durée des observations à l'électromètre ne dépasse pas quelques secondes, la vitesse de rotation du cadre se trouve être un multiple exact de celle du diapason et elle est ainsi déterminée par une méthode de zéro.

Pour connaître cette vitesse, il suffit ensuite d'enregistrer simultanément sur un cylindre Marey les vibrations du diapason et la marche d'un pendule battant la seconde, et de compter le nombre de vibrations inscrites pendant dix à douze minutes. Le pendule a été réglé sur un chronomètre Breguet avec une précision dépassant $\frac{1}{40000}$ de seconde.

Pendant les observations, le diapason faisait 68,2 vibrations doubles par seconde, et le cadre tournait avec une vitesse de 8,525 tours par seconde.

Le conducteur, dont nous avons déterminé la résistance en valeur absolue, est un ruban de maillechort à section rectangulaire, ayant $34^{m},72$ de longueur, 1^{cm} de largeur et $0^{cm},3$ d'épaisseur; il est enroulé en spirale et renfermé dans un récipient contenant de l'huile de naphte. Une des extrémités de ce ruban est rectiligne sur une longueur de $1^{m},50$ et porte une échelle graduée en centimètres.

Ce conducteur est intercalé dans le circuit primaire par des godets pleins de mercure. Une des prises de potentiel A s'effectue au moyen d'une tige de cuivre platinée, taillée en biseau et pressée sur la partie rectiligne du conducteur; elle peut être déplacée à volonté. La seconde prise A est fixe et se trouve à l'autre extrémité.

Ces deux prises communiquent, l'une avec une des bornes de l'électromètre, l'autre avec un des balais frottant sur la chape du cadre tournant. Le fil du second balai aboutit à l'autre borne de l'électromètre et complète le circuit secondaire. Tous ces fils sont isolés par de la gutta-percha et de la gomme laque et sont en outre, autant que possible, maintenus en l'air par des cordons de soie.

Pour déterminer la compensation de la force électromotrice induite dans le cadre tournant et de la différence de potentiel entre deux points du conducteur, nous avons employé un électromètre capillaire shunté par un condensateur ayant une capacité de 0,3 microfarad. Cet instrument s'applique spécialement aux méthodes de zéro; sa grande sensibilité, qui peut atteindre dans certains cas $0^{volt},00003$, son apériodicité absolue et la facilité avec laquelle se font les observations, en recommandent l'emploi dans les mesures de précision.

Le courant primaire dont l'intensité était d'environ 12 ampères a été fourni par une batterie d'éléments Bunsen isolée sur des barreaux de verre.

Observations. — Les observations sont ramenées à la détermination simultanée de deux zéros. La bobine inductrice est placée d'abord dans une position symétrique par rapport à l'axe vertical du cadre tournant, puis on neutralise l'action du magnétisme terrestre, jusqu'à ce qu'on n'observe plus aucune force électromotrice dans le circuit secondaire et que l'électromètre reste au zéro.

Un des observateurs installé au diapason maintient la vitesse du cadre absolument constante, pendant qu'un second observateur ferme le circuit primaire et déplace le long du conducteur la prise de potentiel mobile, jusqu'à ce que l'électromètre indique une compensation complète. On parvient aisément à déterminer sur le ruban de maillechort un point tel qu'un déplacement du contact de moins de 1^{mm} corresponde à une variation de niveau notable du mercure de l'électromètre, et à fixer entre deux limites très rapprochées la véritable position de ce point. La lecture se fait sur l'indication du premier observateur, au moment précis où la vitesse du cadre est invariable et a sa valeur normale, c'est-à-dire au moment où les bandes placées sur le pourtour du volant et vues à travers les fentes des plaques du diapason paraissent être dans une immobilité complète.

On répète ensuite la même observation en renversant le sens du courant primaire, puis les observateurs changent de place, afin d'éliminer les erreurs personnelles. La température du conducteur est notée après chaque lecture.

Voici les résultats de deux séries d'observations faites aux températures de 19°,3 C. et 18°,7 C. :

Observations.		Moyenne.	T.	Observations.		Moyenne.	T.
31,2	31,2	31,2	19°,2	32,1	32,2	32,2	18°,5
31,1	31,2			32,2	32,2		
31,0	31,4	31,3	19,1	31,6	31,8	31,7	18,8
31,4	31,5			31,8	31,6		
31,0	30,6	30,9	19,6	31,8	31,9	31,9	18,8
30,9	31,1			31,9	32,0		
Moyennes...		31,1	19,3			31,9	18,7

La moyenne des deux séries est

31,5, à 19°.

Ce point 31,5 de l'échelle, ou A_1, correspond à la compensation complète à la température de 19° C. Il est déterminé par l'observation simultanée de deux zéros, l'un au diapason, l'autre à l'électromètre.

On déplace ensuite la bobine inductrice dans le sens de son

axe d'une quantité égale à sa longueur et l'on détermine par la même méthode l'écartement des deux prises de potentiel A_1A_2 qui correspond à une compensation parfaite, la vitesse du cadre étant restée la même. Cette longueur A_1A_2 a été trouvée égale à $17^{cm},6$.

Un nouveau déplacement égal de la bobine inductrice n'a plus fourni qu'un écartement A_2A_3 de $1^{cm},45$ des deux prises sur le conducteur; placée encore plus loin, la bobine primaire n'induit plus de force électromotrice appréciable dans le cadre tournant.

En doublant la somme $A_1A_2 + A_2A_3$, on obtient sur le conducteur, une longueur de $38^{cm},1$ qui correspond à la correction des extrémités de la bobine primaire. Si l'on ajoute celle-ci à la portion du ruban fixée par les premières mesures, on obtient, au lieu du point 31,5, le point 69,6, que nous désignerons par la lettre B.

La résistance de la portion AB du ruban à la température de 19° est exprimée par la formule établie plus haut

$$R = 8\pi^2 S n v,$$

dans laquelle nous avons

$$\begin{aligned} S &= 96805,73^{cmq} \\ n &= 4,633 \\ v &= 8,525 \end{aligned}$$

n se rapporte cette fois à une bobine infiniment longue.

En effectuant les calculs, on obtient

$$R = 0,301889 \times 10^9, \qquad \text{C.G.S. à } 19^\circ \text{ C.}$$

C'est la résistance en unités C.G.S. de la portion AB du conducteur à 19°; il suffit de mesurer cette quantité en ohms légaux pour obtenir ensuite par comparaison la valeur de l'ohm vrai.

Cette mesure a été faite au Bureau international des Poids et Mesures, où M. Benoît a mis à notre disposition, avec une grande obligeance, toute l'installation électrique ayant servi à la construction des prototypes de l'ohm légal. Nous avons utilisé la méthode employée par M. Benoît; c'est une sorte de double pesée dans laquelle la différence des résistances à comparer se trouve ex-

primée par une certaine longueur du fil d'un pont de Wheatstone [1].

La résistance du ruban de maillechort étant voisine de $0^{ohm},3$, la méthode de comparaison la plus précise consistait à former la seconde branche du pont par trois copies au mercure de l'ohm légal, groupées en quantité au moyen de grosses tiges de cuivre terminées par des capsules de platine et plongeant dans les flacons terminaux des étalons.

Les étalons mis à notre disposition avaient, à 0° C., les valeurs suivantes :

Numéros.	ω
3	0,999720
69	0,998776
330	0,998264

Ils étaient placés dans un vase plein d'eau et, groupés en quantité, ils formaient une branche du pont ayant une résistance de

$$0^{\omega},332973 \text{ à } 0^{\circ} \text{ C.}$$

Nous avons fait deux séries de comparaisons; la première à une température moyenne de 9°,02, la seconde à 17°,76; elles ont fourni, pour la résistance du conducteur de maillechort en ohm légal, les valeurs suivantes :

$$0^{\omega},303700 \text{ à } 9^{\circ},02,$$
$$0^{\omega},305015 \text{ à } 17^{\circ},76;$$

on en déduit le nombre

$$\alpha = 0,0004976$$

pour le coefficient moyen de variation de résistance du ruban de maillechort avec la température, en admettant pour le mercure les coefficients

$$a = 0,0008649,$$
$$b = 0,00000112.$$

La résistance du ruban de maillechort est exprimée à une tem-

---

[1] R. Benoit, *Construction des étalons prototypes de résistance électrique.* Paris, Gauthier-Villars; 1885.

pérature t par la formule

$$r = 0^{\omega},302341(1 + 0,0004976t),$$

ce qui nous donne à 19° C., température des premières observations,

$$r = 0^{\omega},305199.$$

Sa longueur étant de $34^{m},72$, la résistance de 1^{cm} est de $0^{\omega},0000879$.

Les deux points A et B déterminés dans la première partie des expériences étaient éloignés des extrémités du ruban, l'un de $22^{cm},2$, l'autre de $6^{cm},8$.

Cette somme de 29^{cm} a une résistance de $0^{\omega},002549$ que nous avons à déduire de la valeur de r pour obtenir en ohm légal la résistance de la portion du ruban comprise entre A et B. Celle-ci se trouve égale, à 19° C., à

$$R' = 0^{\omega},302650.$$

Nous avons trouvé précédemment que cette même quantité, exprimée en unités C.G.S., a pour valeur

$$R = 0,301889 \times 10^{9}.$$

Le premier nombre se rapportant à l'ohm légal, c'est-à-dire à la résistance d'une colonne de mercure de 1^{mmq} de section et de 106^{cm} de longueur à la température de la glace fondante, on déduit par comparaison de R et de R' la valeur de l'ohm théorique qui est la résistance d'une colonne de mercure de 1^{mm} carré de section et de $106^{cm},267$ de longueur à la même température.

Le nombre $106^{cm},27$ que nous avons trouvé pour la longueur de la colonne mercurielle correspondant à l'ohm théorique est très voisin des résultats fournis par les déterminations les plus récentes. Citons parmi ceux-ci 106,30 obtenu par M. Rowland, 106,32 par M. Kohlrausch et 106,24 par M. Dorn.

La concordance de ces diverses mesures permet d'admettre que la longueur de la colonne de mercure qui correspond à l'ohm théorique est connue avec une approximation qui dépasse $\frac{1}{2000}$.

SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MASCART.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bjerknes, de Christiania.

Guillemin (l'abbé), Licencié ès Sciences, à Paris.

Ferrari Perez (Fernando), Professeur de Physique et de Chimie à l'École Normale de Mexico.

Maquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur de Physique et d'Électricité à l'École des Mines du Hainaut, à Bruxelles.

Mislawsky (Dr), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan.

Timont, Professeur au Collège Stanislas, à Paris.

Wuilleumier, Ingénieur électricien, à Paris.

Sur la proposition du Conseil et à l'unanimité des voix, MM. J. Bertrand et Hirn sont nommés Membres honoraires de la Société.

M. H. Le Chatelier met sous les yeux de la Société un appareil destiné à la mesure des températures élevées dont le principe est dû à un savant américain M. C. Barus. En étudiant la viscosité du gaz, ce savant a été conduit à penser que l'on pourrait utiliser avantageusement pour la mesure des températures l'accroissement considérable de résistance qu'offrent au passage des gaz les tubes capillaires quand on vient à les échauffer. Dans l'appareil mis sous les yeux de la Société. Le tube capillaire est en argent, il a $0^m,20$ de longueur; son diamètre intérieur est de $0^{mm},43$. Les temps nécessaires pour faire traverser ce tube par un même volume d'air pour une différence de pression constante et voisine d'une hauteur d'eau de $0^m,15$ ont été les suivants :

Température	15°	100°	320°	500°	700°
Temps	80″	115″	270″	310″	427″

Les durées d'écoulement ont varié sensiblement comme la puissance 1,37 des températures absolues. On peut transformer la mesure des temps en une simple lecture de hauteur en faisant tomber l'eau du vase de Mariotte qui produit l'aspiration dans un tube vertical en verre terminé à la partie inférieure par un tube capillaire. La hauteur à laquelle se maintient l'eau est proportionnelle à la quantité qui s'écoule dans l'unité de temps.

M. Pellat appelle l'attention de la Société sur la distinction qu'il convient d'établir entre la force électromotrice qui existe au contact de deux conducteurs de natures différentes et la différence de potentiel qui a lieu en passant d'un de ces conducteurs à l'autre.

La définition générale de la force électromotrice e d'un électromoteur quelconque est *la quantité d'énergie que cet électromoteur communique à l'unité d'électricité qui le traverse;* cette énergie provient soit d'un travail reçu par l'électromoteur (électromoteurs fondés sur l'induction, ou sur les phénomènes électrocapillaires), soit d'une quantité de chaleur détruite par l'électromoteur (piles thermo-électriques), soit d'une diminution de son énergie potentielle par suite d'une réaction chimique (piles hydro-électriques); ce travail ou cette destruction d'une des formes de l'énergie fait connaître l'énergie électrique produite, et permet de déterminer la force électromotrice.

La différence de potentiel v entre les deux corps est *le travail accompli par la force électro-électrique agissant sur l'unité d'électricité positive quand elle se déplace entre les deux points considérés,* la force *électro-électrique* étant la force provenant des divers points électrisés conformément à la loi de Coulomb $\left(\frac{mm'}{r^2}\right)$ et non la force totale agissant sur l'unité d'électricité; d'où $\left(v = \sum \frac{m}{r} - \sum \frac{m}{r'}\right)$. M. Pellat fait remarquer, en effet, qu'outre les forces électro-électriques, il existe nécessairement d'autres forces agissant sur l'électricité; ce sont précisément ces dernières qui triomphent des forces électro-électriques dans un électromoteur; si elles n'existaient pas, nous ne connaîtrions pas l'électricité.

Il n'existe, dans l'état d'équilibre, aucune force électromotrice, ni aucune différence de potentiel à l'intérieur d'un des conducteurs homogènes qui constituent une pile. Les forces électromotrices ne peuvent donc exister qu'à la surface de séparation de deux conducteurs de nature différente, et la force électromotrice totale E de la pile est la somme algébrique des forces électromotrices e dont chaque contact est le siège ($E = \Sigma e$). D'autre part, la différence de potentiel V qu'un électromètre constate entre les deux pôles d'une pile en circuit ouvert est évidemment aussi la somme algébrique des sauts de potentiel v qui ont lieu à chaque contact ($V = \Sigma v$). Il est aisé de démontrer que $E = V$; en effet, supposons que les pôles soient réunis par un fil métallique de même nature que ceux-ci et infiniment résistant par rapport à la pile; l'énergie électrique Eq communiquée à la quantité q d'électricité qui parcourt le circuit est tout entière convertie en énergie calorifique qui, à un infiniment petit près, est créée dans le fil conjonctif; or, la différence de potentiel des pôles est restée V, à un infiniment petit près; par conséquent, d'après la loi de Joule, l'énergie calorifique créée dans le fil est Vq; d'où $Eq = Vq$ ou $E = V$.

Mais de l'égalité $\Sigma e = \Sigma v$, on ne peut pas conclure que $e = v$, et il est facile de voir qu'il n'en est pas ainsi en général. Ainsi, au contact de deux métaux différents, la force électromotrice est nulle, ou presque nulle, étant révélée seulement par l'effet Peltier, qui nous montre qu'elle est de l'ordre des millièmes de volt; tandis que M. Pellat a montré à la Société, dans une précédente Communication, que la différence de potentiel vraie

entre le zinc et le mercure atteint un demi-volt environ. Par contre, quand une électrode mercurielle au contact d'un électrolyte est polarisée de façon à présenter une constante capillaire maximum, la différence de potentiel entre le mercure et l'électrolyte est nulle; M. Lippmann a montré en effet que, dans ce cas, la couche électrique double est nulle; or, d'après la formule de Poisson $\Delta V = -4\pi\rho$, cette couche double ne peut être nulle que si la différence de potentiel V est nulle. Mais la force électromotrice est loin d'être nulle, puisqu'elle fait équilibre à la force électromotrice extérieure qui a produit et qui maintient cette polarisation.

Dans une seconde Communication, M. Pellat rappelle qu'en faisant écouler un métal liquide comme le mercure à l'intérieur d'un électrolyte, le métal qui s'écoule, s'il est isolé, se met, au bout d'un temps très court, au même potentiel que l'électrolyte; à ce moment seulement, en effet, la couche électrique double entre le métal et l'électrolyte est nulle; l'électrode métallique, par conséquent, ne perd plus d'électricité par la formation des gouttes, comme cela a lieu tant que les potentiels diffèrent, et son potentiel devient constant.

La différence de potentiel v existant alors entre le métal qui s'écoule A et une couche B d'un métal de même nature placée au fond du vase qui renferme l'électrolyte est facile à obtenir au moyen d'un électromètre quelconque; or elle représente la différence de potentiel entre le métal B et l'électrolyte (1); celle-ci est la différence de potentiel normale, si B n'est pas polarisé, et il est toujours facile d'éviter la polarisation de cette électrode.

Un amalgame de zinc ou un amalgame de cuivre parfaitement fluide, qui, dans une pile, se comporte absolument soit comme du zinc amalgamé solide, soit comme du cuivre, peut être employé dans cette expérience, et équivaut à du zinc ou à du cuivre.

En appliquant cette méthode générale au cas particulier où le métal s'écoule dans une dissolution d'un de ses sels, M. Pellat a trouvé un résultat très simple :

Dans le cas d'un métal baigné par une dissolution de l'un de ses sels, la différence de potentiel normale entre le métal et l'électrolyte est nulle.

On trouve, en effet, pour v :

Amalgame de zinc dans	sulfate de zinc.....	$+0^{v},002$
» »	chlorure de zinc.....	$+0,001$
» »	azotate de zinc.....	$-0,001$
Amalgame de cuivre dans	sulfate de cuivre.....	$+0,001$
» mercure dans	azotate de mercure....	$0,000$

(tandis que mercure dans sulfate de zinc donne $+0^{v},520$).

---

(1) En réalité, à cause des phénomènes de dépolarisation spontanée de la goutte

M. Pellat discute ensuite l'objection que l'on peut faire à la démonstration de la loi, fondée sur ce qu'un métal ne peut pas se polariser dans un sel de ce métal. Il montre directement que le résultat de l'expérience ne peut s'expliquer que par la loi énoncée ci-dessus ou par des hypothèses invraisemblables, comme la formation d'une couche du corps SO^4 persistant au contact de l'amalgame de zinc, quand on plonge celui-ci dans une dissolution de sulfate de zinc.

M. Chassagny rend compte des expériences qu'il a faites avec M. Violle sur l'électrolyse de l'eau avec dégagement de lumière.

Dans de l'eau contenant $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique plongeait profondément un fil de platine de $4^{mm},5$ de diamètre, servant d'électrode positive. L'électrode négative était constituée par un fil de platine de $1^{mm},6$ de diamètre que l'on enfonçait lentement dans le liquide froid.

Si la différence de potentiel aux bornes du voltamètre est supérieure à 32 volts, on observe autour du fil négatif une gaine lumineuse qui le sépare du liquide et dans laquelle s'effectue exclusivement le dégagement d'hydrogène. Elle offre au passage du courant une résistance très forte, qui diminue lentement à mesure que la gaine s'étale en pénétrant dans le liquide avec le fil, et qui tombe brusquement au moment où la gaine disparaît pour faire place au dégagement ordinaire par bulles.

La gaine étant établie sur une certaine longueur, si l'on fait croître progressivement la différence de potentiel entre les deux électrodes, les manifestations calorifiques et lumineuses augmentent d'intensité. La partie immergée de l'électrode rougit et peut même fondre. La gaine s'élargit et se déchire avec lumière et avec bruit en grosses bulles pressées. En même temps le liquide se charge d'une poudre noire très lourde qui est un hydrure de platine, Pt^2H.

Sur l'électrolyse;

Par MM. Violle et Chassagny.

La décomposition de l'eau au moyen d'un courant énergique est accompagnée de phénomènes lumineux et calorifiques, signalés,

---

du métal liquide pendant sa formation, le potentiel du métal qui s'écoule n'atteint pas exactement la valeur du potentiel du liquide électrolytique, et la différence de potentiel entre A et B est toujours inférieure à la différence de potentiel entre B et l'électrolyte. Mais, comme on le voit, cette cause d'erreur est nulle si l'expérience montre qu'il y a égalité de potentiel entre A et B malgré l'écoulement, ce qui est précisément le cas de ces recherches.

il y a plus de quarante ans, par MM. Fizeau et Foucault [1], et étudiés depuis par un grand nombre de physiciens, entre lesquels il faut citer Planté [2] et M. Slouguinoff [3], ainsi que M. Righi [4] et M. Colley [5]. L'emploi d'une machine Gramme, pouvant débiter 40 ampères avec une force électromotrice de 110 volts, nous a permis d'obtenir facilement ces phénomènes, de les observer dans des conditions bien définies et d'en remarquer quelques circonstances nouvelles.

Dans de l'eau contenant $\frac{1}{10}$ d'acide sulfurique [6] plongeait profondément un fil de platine de $4^{mm},5$ de diamètre, servant d'électrode positive. L'électrode négative était constituée par un fil de platine de $1^{mm},6$ de diamètre, que l'on enfonçait très lentement dans le liquide froid.

Si la différence de potentiel aux bornes du voltamètre est supérieure à 32 volts, on observe autour du fil négatif une gaine lumineuse dans laquelle s'effectue exclusivement le dégagement d'hydrogène. Elle offre au passage du courant une résistance très forte, qui diminue lentement à mesure que la gaine s'étale en pénétrant dans le liquide avec le fil, et qui tombe brusquement au moment où la gaine disparaît pour faire place au dégagement ordinaire par bulles. Le Tableau suivant indique la longueur maximum l que peut atteindre la gaine dans un liquide froid pour une force électromotrice donnée E; I est l'indication d'un ampère-mètre Deprez-Carpentier, intercalé dans le circuit :

l.	E.	I.	EI	
			obs.	calc.
cm	volts	amp		
1	35	0,9	32	32
2	39,3	1,6	63	64
3	41,5	2,4	99	96
4	42,8	3,1	132	128
5	44	3,7	163	160
6	44,8	4,3	192	192
7	45,5	4,8	218	224
8	46			

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XI, p. 383; 1844.

(2) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LXXX, LXXXI, LXXXIV, LXXXV, *passim;* 1875-77.

(3) *Journal de Physique*, 1re série, t. X, p. 419; 1881.

(4) *Il nuovo Cimento*, 3e série, t. I, p. 267; 1877.

(5) *Journal de Physique*, 1re série, t. IX, p. 155; 1880.

(6) Avec une moindre proportion d'acide, les phénomènes sont moins nets.

Les quantités d'énergie électrique dépensées dans le voltamètre sont sensiblement proportionnelles aux longueurs maxima de gaine qu'elles peuvent produire.

La lumière qui se manifeste sur l'électrode est discontinue: quelques points brillants, orangés, apparaissent d'abord, à l'extrémité du fil; puis un semis de couleur violette s'étend sur toute la partie immergée.

Cette partie s'échauffe beaucoup, et la caléfaction contribue puissamment à l'entretien de la gaine. Si, en effet, on supprime le courant, la gaine ne disparaît pas immédiatement, et un bruissement se produit quand le liquide arrive au contact du métal. De même, le passage de la gaine aux bulles, lorsque l'électrode graduellement immergée atteint une certaine profondeur, est accompagné d'une sorte d'explosion. D'autre part, avec un potentiel inférieur à 32 volts, on peut produire la gaine sur le fil négatif préalablement chauffé; mais alors le phénomène est passager, et bientôt le dégagement par bulles se fait au travers du liquide arrivé en contact avec le fil refroidi.

La gaine étant établie sur une certaine longueur, si l'on fait croître progressivement la différence de potentiel entre les deux électrodes, les manifestations calorifiques et lumineuses augmentent d'intensité. Les décharges qui illuminent la gaine deviennent plus nombreuses et plus vives. Le dégagement de gaz s'accélère; le liquide s'élève autour de l'électrode; la gaine s'élargit et se déchire avec lumière et avec bruit en grosses bulles pressées. La partie immergée de l'électrode rougit et peut même fondre: avec une force électromotrice de 80 à 100 volts, on fond facilement le fil de platine de $1^{mm},6$ de diamètre, plongeant de 2^{cm} à 4^{cm}, tandis que la partie extérieure du même fil est à peine chaude.

Avec une grande différence de potentiel, il est difficile d'établir et plus difficile encore de maintenir la gaine, qui, à la moindre agitation, se transforme en bulles crépitantes.

Cette forme bruyante de l'électrolyse s'accompagne d'une désagrégation superficielle de l'électrode négative : bientôt le liquide se charge d'une poudre noire très lourde, constituée essentiellement par un hydrure de platine, décomposable dans le vide au-dessus de 400° (1), et correspondant à la formule Pt^2H.

---

(1) Berthelot, *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXX, p. 530; 1883.

Nous ne nous sommes occupés jusqu'ici que des phénomènes qui se manifestent au pôle négatif. On peut aussi observer une gaine sur l'électrode positive. Il suffit, pour cela, d'intervertir les conditions de l'expérience, d'attacher au pôle négatif le fil de $4^{mm},5$, toujours profondément plongé dans la même eau acidulée au $\frac{1}{10}$, et d'enfoncer graduellement l'électrode positive constituée par le fil de $1^{mm},6$. On constate tout de suite une plus grande difficulté à obtenir la gaine, qui ne se forme pas nettement à moins de 50 volts, mais qui, en revanche, montre une persistance remarquable; elle est, d'ailleurs, beaucoup moins lumineuse.

Si l'on produit d'abord la gaine sur le gros fil, le fil fin étant plongé de 2^{cm} à 3^{cm}, à mesure que l'on enfonce le gros fil, la gaine s'allonge jusqu'au point où elle disparaît brusquement; mais aussitôt l'intensité du courant augmente, et l'autre électrode peut s'échauffer assez pour se couvrir, à son tour, d'une gaine lumineuse ou de bulles crépitantes.

Des phénomènes semblables, mais beaucoup moins intenses, se manifestent dans l'eau acidulée avec de l'acide phosphorique. La décomposition normale est plus difficilement troublée, comme l'a déjà indiqué M. Mascart (1).

Recherches expérimentales sur la cohésion des liquides [SUITE];

Par M. TH. SCHWEDOFF.

II. — VISCOSITÉ DES LIQUIDES (2).

1. *Frottement à l'état stationnaire.* — D'ordinaire, on considère la viscosité des liquides comme la capacité de détruire un travail extérieur pendant leur déformation. Cette définition n'est pas assez générale, en ce sens que la perte de travail n'est pas nécessairement liée à la déformation d'un liquide.

Soit *abcd* (*fig.* 1) un cube liquide. Admettons qu'il ait éprouvé un cisaillement effectif $cc' = \varepsilon$, dans les limites de sa ténacité.

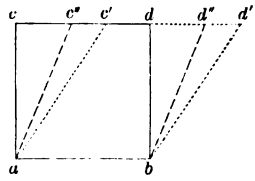
---

(1) *Journal de Physique,* 2e série, t. I, p. 111; 1882.

(2) *Voir* page 134.

Abandonné aussitôt à lui-même, le cube, en vertu de sa rigidité, reprendra sa figure primitive. Il y aura perte du travail extérieur dans la première phase de cette expérience et gain de ce travail, égal à la perte, dans la deuxième phase. Mais si, après avoir imprimé au cube la déformation ε, on entretient le liquide dans la position $abc'd'$ un certain temps t, il se formera une déformation résiduelle $\rho = cc'$, et le liquide, abandonné à lui-même, ne reviendra à l'équilibre que sous l'action de la déformation active $\alpha = c''c$ et s'arrêtera dans une nouvelle position $abc''d''$. Cette fois il y a, en définitive, perte de travail qui s'est effectuée pendant la période t, quand la figure du liquide restait invariable. C'est aussi la période d'apparition de la déformation résiduelle ρ.

Fig. 1.



Cette conclusion offre cet intérêt, qu'elle jette un jour sur le procédé de réchauffement des corps, solides ou liquides, soumis à une déformation. Il résulte de ce qui précède que la capacité d'un corps rigide d'absorber le travail et de dégager la chaleur doit être liée à sa déformation résiduelle; donc on doit dépasser la limite de l'élasticité parfaite, pour réchauffer un corps mécaniquement. C'est pour cette raison qu'une tige d'étain se réchauffe à la moindre flexion, qu'une bande de caoutchouc ne se réchauffe qu'aux limites de son extensibilité et qu'un fil d'acier ne se réchauffe pas du tout, à moins qu'il ne se rompe préalablement.

2. *Frottement à l'état de déformation continue.* — Admettons maintenant que la face supérieure cd du cube (*fig.* 1) soit animée d'un mouvement continu, dont la vitesse est v. Dans le cours de l'expérience, à chaque élément de temps dt correspond un accroissement $d\varepsilon$ de la déformation effective et un accroissement $\partial\rho$ de la déformation résiduelle. La différence $d\varepsilon - \partial\rho$ est ce

que nous avons appelé [1] *déformation active dt.* On a

$$(a) \qquad d\alpha = d\varepsilon - \partial\rho.$$

En désignant par $d\mathrm{F}$ l'accroissement du ressort, on a

$$(b) \qquad d\mathrm{F} = \mathrm{E}\, d\alpha = \mathrm{E}(d\varepsilon - \partial\rho),$$

où E est la rigidité du liquide.

Or, en vertu de l'équation (4_a) de l'article précédent, on a

$$(c) \qquad \partial\rho = \beta(\alpha - \lambda)\, dt.$$

En substituant dans (b), on a

$$(d) \qquad d\mathrm{F} = \mathrm{E}\, d\varepsilon - \beta(\mathrm{E}\alpha - \mathrm{E}\lambda)\, dt.$$

Le produit $\mathrm{E}\alpha$ n'est autre chose que le ressort du liquide pour la déformation α, ressort que nous avons désigné par F. Pareillement, $\mathrm{E}\lambda$ est le ressort pour la déformation limite que nous appellerons *ressort limite du liquide* et que nous désignerons par f. L'équation (d) devient

$$(e) \qquad d\mathrm{F} = \mathrm{E}\, d\varepsilon - \beta(\mathrm{F} - f)\, dt.$$

Nous avons, en outre,

$$d\varepsilon = v\, dt \qquad \text{ou bien} \qquad dt = \frac{d\varepsilon}{v}.$$

Par conséquent,

$$(f) \qquad d\mathrm{F} = \mathrm{E}\, d\varepsilon - \frac{\beta}{v}(\mathrm{F} - f)\, d\varepsilon,$$

d'où l'on tire

$$d\varepsilon = \frac{d\mathrm{F}}{\mathrm{E} - \frac{\beta}{v}(\mathrm{F} - f)}.$$

Arrêtons-nous au cas usuel des expériences sur le frottement des liquides, quand la vitesse de cisaillement v est constante. Les quantités E, β, f étant constantes par leur nature, on obtient, par l'intégration,

$$(g) \qquad \varepsilon + c = -\frac{v}{\beta}\log\left(\mathrm{E} + \frac{\beta}{v}f - \frac{v}{\beta}\mathrm{F}\right),$$

où c est la constante d'intégration. Pour la déterminer, on a la

---

[1] *Voir* page 147.

condition $F = 0$ pour $\varepsilon = 0$. On a

$$c = -\frac{v}{\beta}\log\left(E + \frac{\beta}{v}f\right).$$

Par conséquent,

$$\text{(A)} \qquad F = \frac{v}{\beta}\left(E + \frac{\beta}{v}f\right)\left(1 - e^{-\frac{\beta}{v}\varepsilon}\right),$$

où e est la base des logarithmes népériens.

Supposons maintenant que, la déformation du liquide étant entretenue continuellement, ε augmente et tende vers l'infini. Dans ce cas, F tend vers la limite F_∞ qui est déterminée par l'équation

$$F_\infty = \frac{v}{\beta}\left(E + \frac{\beta}{v}f\right).$$

On en tire

$$\frac{F}{v} = \frac{E}{\beta} + \frac{f}{v}.$$

Or, dans les conditions de cette expérience, le rapport $\frac{F}{v}$ n'est autre chose que l'effort par unité de vitesse ou bien le coefficient de frottement du liquide. En le désignant par η, nous avons

$$\text{(B)} \qquad \eta = \frac{E}{\beta} + \frac{f}{v}.$$

C'est la loi de frottement intérieur.

L'analyse de cette formule nous conduit aux conclusions suivantes :

1° Le coefficient de frottement η dépend bien de la rigidité d'un liquide; mais il dépend aussi du ressort limite f.

2° Ce coefficient n'est pas constant, comme on le suppose ordinairement : il varie avec la vitesse de cisaillement.

3° Cette variation de η est d'autant plus sensible que f est plus considérable et que la vitesse v est moins grande. Quand v s'approche du zéro, η tend vers l'infini.

4° η ne devient constant ou presque constant que quand f est infiniment petit ou que v est infiniment grand.

Il serait inutile d'insister sur l'importance de ces conséquences qui sont en contradiction avec tout ce que nous savons sur le frottement des liquides. Mais justement parce que ce désaccord est

frappant, il devient urgent de reconnaître à quel point la théorie que je viens d'exposer s'accorde avec l'expérience.

Préalablement, nous allons donner à la loi (B) une forme accessible à une interprétation géométrique bien simple.

Désignons par θ la *lenteur* de cisaillement, c'est-à-dire le temps nécessaire pour un cisaillement égal à l'unité. Nous aurons $1 = vF$; par conséquent,

$$\text{(B)} \qquad \eta = \frac{E}{\beta} + f\theta.$$

Il s'ensuit que *la viscosité d'un liquide est une fonction linéaire de la lenteur de sa déformation.*

3. *Méthode et procédés d'expérimentation.* — Je me suis arrêté à la méthode des deux cylindres concentriques, dont l'intervalle est rempli du liquide à étudier. Proposée d'abord par M. Margules pour l'étude de la viscosité des liquides, cette méthode avait éprouvé depuis des perfectionnements essentiels entre les mains de M. Couette [1], qui eut l'heureuse idée d'introduire dans son appareil deux *cylindres de garde,* pour simplifier la théorie de l'expérience. Par hasard, cette méthode se rapproche beaucoup de celle que j'avais adoptée pour mes recherches sur la rigidité des liquides, sans avoir pourtant connaissance des essais de M. Couette dans cette direction. Seulement, au lieu des cylindres de garde, je me suis servi du procédé d'*élimination du fond* que j'ai décrit dans la première Partie de ces recherches.

L'appareil et les procédés de mesure sont les mêmes que ceux dont je me suis servi pour la rigidité des liquides. On remplit l'intervalle entre les deux cylindres du liquide à étudier, on remet les deux images de l'échelle à zéro et l'on imprime au vase extérieur un mouvement uniforme de rotation. Sa vitesse se transmet, par l'intermédiaire du liquide, au vase intérieur et imprime au fil de suspension une torsion δ, laquelle croît de plus en plus lentement, jusqu'à devenir stationnaire. On mesure la durée T de rotation du cylindre extérieur et l'angle δ, et l'on en déduit le coefficient de frottement du liquide.

---

[1] *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences,* t. CVII, p. 388; 1888.

Comme moteur, pour le cylindre extérieur, j'emploie un tourniquet électrique, muni d'un régulateur des vitesses et actionné par une batterie de 12 éléments Daniell. Un commutateur sert à renverser le sens de rotation. Le mouvement est transmis à l'appareil au moyen de cordes sans fin et de poulies. On peut varier la durée d'une rotation du cylindre extérieur dans de larges limites, entre quelques heures et quelques secondes. Si cette durée est très petite, on se sert, pour la mesurer, d'un compteur électromagnétique. A chaque tour du cylindre, un bouton ferme le courant d'un circuit, agit sur le compteur et lui fait rendre un bruit sec. Le temps est mesuré au moyen d'un compteur de secondes, donnant $\frac{1}{5}$ de seconde, et que l'on peut mettre en marche ou arrêter, en agissant sur un bouton. Si la durée d'une rotation est très grande, on la mesure de la manière suivante. Une bande divisée est collée autour du cylindre extérieur. Une lunette à réticule, bien immobile, vise les traits de cette bande. On compte le nombre de traits qui passent devant le fil du réticule pendant un certain temps, et l'on en déduit la durée de la rotation complète. Chaque mesure est répétée au moins quatre fois, deux fois pour un sens de rotation et deux fois pour le sens contraire. La moyenne de ces quatre mesures est prise pour le nombre observé.

L'appareil était installé sur une console de pierre scellée dans un mur. La température de l'air ambiant ne variait presque pas dans la durée de l'expérience. Les petites variations, quelques dixièmes de degré tout au plus, étaient notées, de temps en temps, à un thermomètre suspendu sur l'appareil, et l'on en prenait la température moyenne.

Une attention spéciale était prêtée à la vérification de la constance du coefficient de l'élasticité du fil de suspension. C'est le point essentiel de l'exactitude de la méthode.

4. *Théorie de l'expérience.* — Cette théorie est de tout point identique à celle que j'avais développée dans la première Partie de mon travail. On n'a qu'à remplacer :

a. Le coefficient de rigidité E par le coefficient de frottement η ;

b. La déviation angulaire ω_1 du cylindre intérieur par la vitesse angulaire Ω_1 du cylindre extérieur.

Les formules (3) du Chapitre V de la première Partie devien-

nent

$$x = \frac{\delta_0}{\delta_1 - \delta_0} h,$$

$$\eta = q \frac{k}{h + x} \frac{\delta_1}{\Omega_1},$$

$$q = \frac{1}{4\pi}\left(\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r_1^2}\right).$$

Les autres lettres retiennent la même signification qu'elles avaient dans la première Partie.

En désignant par T la durée d'une rotation du vase extérieur et en remarquant que $\Omega_1 = \frac{2\pi}{T}$, nous pouvons donner aux dernières formules une forme plus commode pour le calcul des résultats de l'expérience :

$$(C) \quad \left\{ \begin{aligned} x &= \frac{T\delta_0}{T\delta_1 - T\delta_0} h, \\ \eta &= q_1 \frac{k}{h + x} T\delta_1, \\ q_1 &= \frac{\frac{1}{r_0^2} - \frac{1}{r_1^2}}{8\pi^2}. \end{aligned} \right.$$

Légende des formules (C).

k coefficient de l'élasticité de torsion du fil de suspension ;
δ_0 angle de torsion du fil pour $h = 0$;
h hauteur du liquide ;
δ_1 angle de torsion du fil pour h quelconque ;
r_0 rayon extérieur du cylindre suspendu ;
r_1 rayon intérieur du cylindre en rotation ;
T durée d'une rotation complète du cylindre extérieur ;
η coefficient de frottement ou de viscosité ;
x et q deux constantes déterminées par les équations (C).

5. *Vérification expérimentale de la méthode.* — Avant d'aborder la question de la variabilité du coefficient η, j'ai effectué une série d'expériences destinées à examiner la précision et la justesse de la méthode adoptée. Les Tableaux qui suivent résument une partie de ces expériences.

I. *Examen de la formule*

$$\eta = q_1 \frac{k}{h+x} \mathrm{T}\delta.$$

Si la vitesse de rotation varie peu, on doit s'attendre à la constance de η; donc, le produit $\mathrm{T}\delta$ doit rester sans variation, si k, h et x conservent les mêmes valeurs.

Glycérine.

1000δ.	T.	Tδ.	1000δ.	T.	Tδ.
	"			"	
195,92	3,89	0,7621	394,31	1,92	0,7571
196,01	3,86	0,7567	393,72	1,93	0,7599
195,31	3,85	0,7520	388,51	1,95	0,7576
195,47	3,87	0,7549	387,40	1,94	0,7517
Moyenne.....		0,7564	Moyenne.....		0,7565

Huile de ricin.

	"			"	
380,56	3,925	1,493	772,22	1,930	1,490
378,54	3,935	1,489	772,63	1,930	1,491
382,94	3,850	1,474	774,54	1,910	1,479
383,40	3,860	1,479	778,30	1,905	1,482
Moyenne.....		1,489	Moyenne.....		1,485

II. *Examen de la formule*

$$x = \frac{\mathrm{T}\delta_0}{\mathrm{T}\delta_1 - \mathrm{T}\delta_0} h.$$

D'après sa définition, x représente la hauteur d'une couche cylindrique de liquide, dont l'effet sur la torsion du fil équivaut à l'effet du *fond*. Il s'ensuit que x ne doit dépendre ni du liquide contenu dans le vase, ni de la vitesse de rotation, ni du fil de suspension. Cette constante ne doit dépendre que des dimensions des vases et de la hauteur que nous avons adoptée pour zéro de h.

En effet, on a trouvé pour les vases qui portent le n° 3 :

Glycérine : $k = 1723$ dynes ; $r_0 = 2^{cm},09$; $r_1 = 4,185$; $t = 20°,8$ C.

$h = 0$.			$h = 4^{cm}$.		
$1000\delta_0$.	T.	$T\delta_0$.	$1000\delta_1$.	T.	$T\delta_1$.
	"			"	
97,15	51,93	5,045	191,77	52,5	10,070
97,20	52,2	5,075	191,72	52,4	10,074
96,74	52,5	5,080	189,99	52,5	9,976
95,73	52,9	5,063	190,50	52,5	10,000
95,28	52,7	5,023	Moyenne.....		10,024
95,38	52,5	5,009			
Moyenne.....		5,049			

$$x = \frac{T\delta_0}{T\delta_1 - T\delta_0} h = 4,06.$$

Huile de ricin : $k = 27772$ dynes ; $t = 18°,9$; mêmes vases.

$h = 0$.			$h = 4^{cm},19$.		
$1000\delta_0$.	T,	$T\delta_0$.	$1000\delta_1$.	T.	$T\delta_1$.
	"			"	
16,88	43,2	0,7293	34,53	42,9	1,481
16,92	43,0	0,7277	34,84	42,4	1,477
16,96	43,0	0,7294	34,64	42,4	1,470
Moyenne.....		0,7288	Moyenne.....		1,476

$$x = 4,05.$$

La moyenne des deux moyennes $x = 4,055$ peut être appelée *équivalent du fond des vases* n° 3.

Il est utile de faire ici les observations suivantes :

a. Quand on fait varier la hauteur du liquide, ce qui se fait au moyen d'un flacon à siphon, on doit modifier aussi la charge de grenaille, pour l'approprier à la poussée du liquide de bas en haut. Autrement, la tension du fil de suspension serait sensiblement modifiée.

b. La hauteur du liquide que l'on prend pour *zéro* doit être assez éloignée de la partie du fond qui n'est pas cylindrique. Autrement, la distribution des vitesses du liquide qui se trouve en bas des vases influerait sur la distribution des vitesses dans la partie cylindrique.

c. On doit faire alterner les hauteurs $h = 0$ et h quelconque, pour éviter une erreur accidentelle qui peut provenir du temps.

III. *Expériences sur la viscosité de l'eau distillée.* — Il est intéressant de savoir à quel point le coefficient η déterminé par cette méthode s'accorde avec les résultats trouvés par la méthode de Poiseuille. Pour résoudre cette question, j'ai effectué une série d'expériences sur l'eau distillée, liquide dont la viscosité est le mieux étudiée.

Les dimensions de l'appareil dont je me suis servi sont :

$$\text{Vases n° 4 : } r_0 = 2^{\text{cm}},851, \qquad r_1 = 4^{\text{cm}},108,$$

$$\text{Fil de suspension : } k = 196^{\text{dynes}},0.$$

En substituant ces nombres dans les formules (C), on obtient

$$\eta = a\frac{T\delta}{h+x},$$

où

$$\text{(D)} \qquad \log(a) = 9,1990;$$

$\log(a)$ est le logarithme commun.

Pour l'accélération de la pesanteur à Odessa, on a

$$\log(g) = 2,9915.$$

Première expérience.

$h_0 = 16^{\text{cm}}$.			$h_1 = 19^{\text{cm}}$.			$h_2 = 22^{\text{cm}}$.		
$1000\delta_0$.	T.	$T\delta_0$.	$1000\delta_1$.	T.	$T\delta_1$.	$1000\delta_2$.	T.	$T\delta_2$.
64,31	21",7	1,379	75,24	21",15	1,591	84,08	21",2	1,782
62,99	22,2	1,398	73,21	21,6	1,581	83,03	21,4	1,777
65,77	21,15	1,391	73,37	21,6	1,584	83,44	21,3	1,778
65,52	21,2	1,389	Moy.....		1,585	Moy.....		1,779
Moy.....		1,389						

En prenant $h = 16$ pour zéro des hauteurs du liquide, et en posant

$$h = h_1 - h_0 = z,$$

on a

$$x_1 = \frac{T\delta_0}{T\delta_1 - T\delta_0} \times z = 21^{\text{cm}},26.$$

En substituant dans la formule (D)

$$h = z, \qquad x = 21,26,$$

on a définitivement la première valeur de η

$$\eta_1 = 0^{\text{dyne}},01033 = 0^{\text{gr}},00001053.$$

En prenant toujours $h = 16$ pour zéro des hauteurs et en posant

$$h = h_2 - h_0 = 6^{\text{cm}},$$

on a

$$x_2 = \frac{T\delta_0}{T\delta_2 - T\delta_0} \times 6 = 21,36.$$

En substituant dans (D), nous avons

$$\eta_2 = 0^{\text{dyne}},01028 = 0^{\text{gr}},00001048.$$

Deuxième expérience.

$h_0 = 16,22.$			$h_1 = 19,15.$			$h_2 = 22,0.$		
$1000\delta_0$.	T.	$T\delta_0$.	$1000\delta_1$.	T.	$T\delta_1$.	$1000\delta_2$.	T.	$T\delta_2$.
60,06	23",4	1,405	68,0	23",4	1,591	75,84	23",4	1,774
60,06	23,35	1,402	68,2	23,4	1,596	76,20	23,3	1,775
58,85	23,65	1,391	68,4	23,23	1,588	Moy.....		1,775
Moy.....		1,400	Moy.....		1,592			

On tire de cette expérience

$$x_4 = 21,36, \qquad \eta_3 = 0^{\text{dyne}},01036 = 0^{\text{gr}},00001057,$$
$$x_4 = 21,58, \qquad \eta_4 = 0^{\text{dyne}},01028 = 0^{\text{gr}},00001048.$$

Température moyenne de la première expérience.....	19°,2
» » deuxième »	19,0
Moyenne.....	19,1

Or, d'après la formule empirique basée sur les expériences de Poiseuille, on a, pour $t = 19^{\circ},1$,

$$\eta = 0^{\text{gr}},00001053.$$

La moyenne de mes quatre mesures est

$$\eta = 0^{\text{gr}},00001051.$$

Ces deux nombres ne diffèrent que par la quatrième décimale.

6. *Expériences sur la variabilité de la viscosité.* — Dans le choix des liquides destinés à contrôler la théorie du frottement exposée ci-dessus, je me suis guidé par les considérations suivantes.

Selon la formule (B), la variation de η croît avec f et devient nulle pour f zéro. Nous avons vu que la solution de gélatine, même très diluée, a un ressort limite considérable. D'autre part, des expériences spéciales sur la rigidité de la glycérine m'ont révélé que ce liquide n'offre pas de trace appréciable de ressort limite.

Il en résulte que la variabilité de η doit être nulle pour la glycérine et appréciable pour la solution de gélatine.

L'expérience a pleinement confirmé cette prévision.

Il est à propos de faire ici certaines remarques concernant la marche des expériences.

Les expériences avec différentes vitesses sont conduites alternativement.

Si les variations des vitesses sont très grandes, on divise l'expérience en série, dont chacune est effectuée avec un fil approprié à la vitesse de rotation. Autrement, un fil mince pourrait dépasser la limite de son élasticité sous l'action d'une torsion trop considérable.

Si le coefficient η est constant, le produit $h\mathrm{T}\delta$ doit rester sans variation, dans les limites des erreurs. Il en est de même du produit $\mathrm{T}\delta$, qui doit être constant si le fil reste le même.

Dans les Tableaux ci-dessous, 1000δ et T sont les moyennes des deux mesures, dont l'une avec la rotation à droite, et l'autre, à gauche.

PREMIÈRE EXPÉRIENCE. — *Glycérine.*

Fil n° 1 : $k = 100400$ dynes.

1000δ.	T.	$\mathrm{T}\delta$.	Moyennes.	$\frac{k\delta\mathrm{T}}{1000}$.
92,90	13",63	1,266	1,264	126,9
92,95	13,61	1,264		
87,03	14,54	1,265		
86,88	14,52	1,262		
68,55	18,45	1,265	1,265	127,0
68,71	18,43	1,266		
66,79	18,94	1,265		
66,84	18,92	1,264		
35,52	35,50	1,261	1,264	126,9
35,52	35,64	1,265		
34,75	36,29	1,261		
35,02	36,27	1,270		
18,64	67,92	1,266	1,265	127,0
18,57	67,95	1,262		
18,67	67,95	1,268		

PREMIÈRE EXPÉRIENCE. — *Glycérine* (suite).

Fil n° 2 : $k = 26407$ dynes.

1000 δ.	T.	Tδ.	Moyennes.	$\frac{k\,\delta T}{1000}$.
41,39	115",8	4,793		
42,25	114,0	4,817		
40,88	116,8	4,774	4,807	126,9
41,13	116,4	4,788		
45,79	105,6	4,837		
45,84	105,5	4,835		
11,18	431,5	4,824		
11,33	422,0	4,781		
12,39	385,0	4,771	4,808	
12,65	380,5	4,813		
12,64	384,0	4,853		

Fil n° 3 : $k = 1760$ dynes.

168,89	426,5	72,03		
170,01	427,0	72,60	72,15	127,1
169,61	423,4	71,82		
22,11	3313,0	73,25		
21,25	3368,0	71,59	72,26	127,2
21,00	3426,0	71,95		

En examinant ce Tableau, on voit que la viscosité de la glycérine reste bien constante, quoique la durée d'une rotation varie entre 13 et 3000 secondes.

DEUXIÈME EXPÉRIENCE : *Solution de* 1 *pour* 100 *de gélatine.* — Il n'était pas nécessaire de changer de fil de suspension dans cette expérience, vu l'énorme variation de la viscosité, en comparaison de laquelle les erreurs provenant du fil sont négligeables :

1000 δ.	T.	Tδ.
71,1	13",8	0,981
40,2	54,3	2,183
71,1	13,9	0,989
39,2	54,3	2,129
55,4	27,2	1,507
70,8	15,2	1,076
66,8	26,5	1,770
82,0	14,3	1,173
59,7	29,3	1,749
80,2	14,1	1,131

1000δ.	T.	Tδ.
37,5	205",0	6,686
84,3	14,6	1,231
30,1	204,0	6,111
83,2	15,0	1,248

A l'inspection de ce Tableau, on est frappé de la variation dont est capable la viscosité de la gélatine liquide. Chaque fois que la vitesse de déformation diminue, la viscosité augmente, pour retomber quand la vitesse croît.

Remarquons que la durée d'une rotation T est proportionnelle à la *lenteur* de déformation θ et que le produit Tδ est proportionnel à la viscosité. Si l'on prend les T de ce Tableau pour abscisses, les Tδ pour ordonnées, on obtient une droite, ce qui confirme la loi exprimée par la formule (C).

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1889.

PRÉSIDENCE DE M. MALLARD.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Brunhes (Bernard), Agrégé, Préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.
Chatelain (Michel), Licencié ès Sciences physiques, à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).
Homén (Theodor), Docteur ès Sciences, agrégé à l'Université d'Helsingfors (Finlande).
Lala, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Toulouse.
Quesneville (Dr), Professeur agrégé à l'Ecole supérieure de Pharmacie.
Rigollot, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Lyon.

M. le Secrétaire général dépose sur le Bureau, au nom de M. le Trésorier, les comptes de l'année 1889.

Une Commission, composée de MM. Caël, Defforges et A. Thenard, est nommée pour vérifier les comptes de l'année 1889.

M. Terquem, chef d'escadron d'Artillerie, rend compte des expériences qu'il a exécutées, pendant la durée de l'Exposition, sur la conductibilité électrique de la tour Eiffel et de ses prises de terre; il expose :

Que la tour Eiffel est munie de 9 paratonnerres surmontés d'aigrettes,

de pointes directement reliées à la charpente de la tour, faisant office de tiges conductrices ; que la tour est reliée par des câbles et des fers feuillards à un ensemble de huit perd-fluides répartis deux à deux dans chaque pile;

Que les perd-fluides des piles Nord et Ouest se composent de tubes en fonte de 20^{cm} de diamètre, s'enfonçant de 12^{m} dans le sol à la cote 21^{m}, et que ceux des piles Est et Sud sont de gros tubes en fonte de 50^{cm} de diamètre, s'enfonçant verticalement dans le sol jusqu'à la cote $25^{m},90$ et se redressant horizontalement, sur une longueur de 17^{m}, au milieu des alluvions de la Seine.

M. Terquem met sous les yeux de la Société l'instrument dont il s'est servi dans une première expérience; c'est un pont de Wheatstone, construit par M. Gaiffe pour la vérification des paratonnerres des magasins à poudre, avec galvanomètre à aiguille astatique; dans la seconde expérience, on s'est servi concurremment d'un nouvel appareil de M. Gaiffe, où le galvanomètre est un galvanomètre à réflexion du type Deprez et d'Arsonval qui permet l'emploi de la méthode de Mance.

Dans la mesure des prises de terre, on a procédé, comme en Télégraphie, par la méthode dite *des terres auxiliaires.*

Séance de juin 1889. — La résistance de la tour mesurée entre la base des paratonnerres et une charpente de la pile Est et aussi entre les deux charpentes extérieures des piles Est et Ouest a été trouvée nulle, c'est-à-dire inappréciable à l'instrument. La résistance des perd-fluides des piles Est et Sud a été trouvée de $0^{\omega},3$ seulement et celle du perd-fluide Ouest, de $3^{\omega},2$.

Séance d'août 1889.— Dans cette séance, on a employé successivement les deux appareils, pour qu'ils se contrôlent mutuellement, dans la mesure de la résistance de la tour T, avec l'auxiliaire des deux perd-fluides N_1 et N_2 de la pile Nord.

La résistance de la tour a été trouvée par la méthode du pont de $0^{\omega},1$, et par la méthode de Mance de $0^{\omega},15$; on a aussi trouvé pour les perd-fluides

$$N_1 = 1^{\omega},1, \qquad N_2 = 1^{\omega},3.$$

On peut donc conclure de ces expériences que l'ensemble des paratonnerres et des perd-fluides de la tour, établis suivant les savantes indications de MM. Becquerel, Berger et Mascart, peut être considéré comme très parfait et susceptible d'exercer sa protection dans un rayon très étendu.

M. Angot présente, au nom de MM. Richard frères, l'anémomètre cinémographe qu'ils ont imaginé et qui inscrit à chaque instant la vitesse du vent en mètres par seconde, tandis que les instruments employés précédemment ne donnaient que le chemin total parcouru pendant un certain temps, c'est-à-dire des vitesses moyennes. Deux de ces instruments fonctionnent régulièrement, l'un depuis un an au Bureau central météorologique, l'autre depuis six mois au sommet de la tour Eiffel.

M. Angot communique ensuite les résultats des observations sur la vitesse du vent et la température, faites d'une manière continue depuis six mois au sommet de la tour Eiffel.

La vitesse du vent à 305^m du sol est en moyenne trois fois plus grande que sur la tourelle du Bureau météorologique, à 18^m; de plus, sa variation dans le courant de la journée est toute différente de ce qu'on a observé dans toutes les stations basses. Dans celles-ci, la vitesse présente un minimum vers l'heure du lever du Soleil et un maximum vers 1^h ou 2^h de l'après-midi. Sur la tour Eiffel au contraire, le minimum se produit entre 9^h ou 10^h du matin et le maximum vers 11^h du soir; c'est à peu près ce qu'on observe dans les stations de montagne.

Quant à la température, les minima diurnes sont en général beaucoup plus élevés et les maxima beaucoup plus bas que dans les stations de même altitude, mais prises au niveau du sol, de telle sorte que l'amplitude de la variation diurne de la température est environ deux fois plus faible au sommet de la tour qu'au pied, et presque identique à celle que l'on observe au sommet du Puy de Dôme. Il en est de même pour la variation annuelle, la température du sommet étant relativement basse en été et haute en hiver. Tous ces phénomènes s'expliquent aisément et tiennent à ce que les observations sont faites réellement à l'air libre, tandis que, dans les stations de montagnes, on n'est jamais débarrassé entièrement de l'influence du sol.

En dehors de ces variations régulières, il se présente souvent des différences de température plus considérables encore, tenant à ce que les changements de régime arrivent quelquefois à 300^m de hauteur bien avant de devenir apparents près du sol; c'est-à-dire que, dans le mois de novembre dernier, un réchauffement important s'est produit à la tour dans la nuit du 21 au 22, tandis que le changement de temps correspondant ne s'est manifesté en bas que dans la matinée du 24.

Ces faits montrent tout l'intérêt qui s'attache aux observations faites régulièrement à la tour Eiffel, et prouvent d'une manière imprévue à quel point les conditions météorologiques peuvent différer à une altitude relativement aussi faible que 300^m, quand on s'éloigne entièrement du sol.

L'anémomètre cinémographe de MM. Richard frères;

Par M. Alfred Angot.

On emploie en Météorologie deux genres d'anémomètres : les *anémomètres de pression* mesurent à chaque instant la pression exercée normalement par le vent sur une surface donnée; les *anémomètres de vitesse,* mis en rotation par le vent, tournent avec une vitesse qui est en relation connue avec celle du vent. Ces

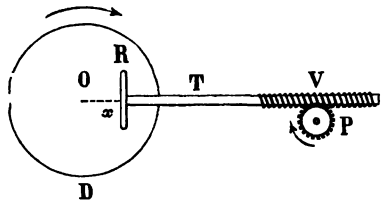
derniers, plus simples et plus commodes, sont actuellement de beaucoup les plus employés.

Pour enregistrer les indications des anémomètres de vitesse, on les munit d'un dispositif, très simple à imaginer, qui ferme un courant toutes les fois que l'instrument a fait un nombre de tours convenable, correspondant à un certain chemin parcouru par le vent, 100^{m} ou 1^{km} par exemple. Une plume commandée par un électro-aimant marque alors un trait sur une bande de papier qui se déroule avec une vitesse uniforme; la distance qui sépare deux traits consécutifs donne le temps pendant lequel le vent a parcouru un espace donné. On peut calculer la vitesse du vent pendant un intervalle quelconque, en divisant l'espace parcouru par le temps employé à le parcourir; mais on n'obtient ainsi qu'une vitesse moyenne, tandis qu'il serait bien plus intéressant de connaître la vitesse vraie à chaque instant, qui varie avec une grande rapidité. L'anémomètre cinémographe imaginé par MM. Richard frères résout ce problème d'une manière très ingénieuse.

Le principe de cet instrument est le suivant :

Une tige T (*fig.* 1) se termine d'un côté par une vis sans fin V,

Fig. 1.



et de l'autre par une roulette R, dont le plan est perpendiculaire à la tige T, et qui est fixée à cette tige de manière que toute rotation de la roulette R entraîne celle de la vis V. Cette vis engrène sur un pignon P, commandé électriquement par l'anémomètre; chaque fois que celui-ci a fait un nombre de tours déterminé qui correspond à un certain chemin parcouru par le vent, le pignon P tourne d'une dent de gauche à droite et déplace, vers la droite, d'une certaine quantité, la vis V et la roulette R.

D'autre part, la roulette appuie par un point de sa circonférence

sur un disque ou plateau D, qu'un mouvement d'horlogerie fait tourner avec une vitesse uniforme; la rotation se transmet à la roulette R et à la tige T et la dévisse ainsi de l'écrou formé par la denture du pignon P, ce qui tend à déplacer constamment tout le système RTV vers la gauche et à ramener au centre O du plateau le point de contact de la roulette R avec ce plateau.

La roulette R se trouve ainsi soumise à deux actions contraires: celle du pignon P qui l'éloigne de O et celle du plateau D qui la ramène vers ce point; elle va donc chercher sur le plateau D une position d'équilibre stable, pour laquelle il est facile de voir que la distance x de R à O est exactement proportionnelle à la vitesse de rotation du pignon P.

En effet, soient ω la vitesse angulaire du disque D, x la distance actuelle de la roulette R au centre de ce disque, r le rayon de la roulette et a le pas de la vis V. La vitesse angulaire de la roulette R sera $\frac{\omega x}{r}$ et, dans le temps Δt, la rotation de cette roulette la rapprochera du point O de la quantité

$$(1) \qquad \frac{\omega x a}{2\pi r}\Delta t.$$

Quand le pignon P tourne, chaque dent fait avancer vers la droite la vis V d'une longueur constante b; si le pignon tourne à raison de n dents par seconde, le déplacement total de R produit par la rotation de P sera, dans le temps Δt,

$$(2) \qquad nb\,\Delta t.$$

Pour l'équilibre, il faut que les quantités (1) et (2) soient égales; donc

$$\frac{\omega x a}{2\pi r} = nb \qquad \text{ou} \qquad x = \mathrm{K}n,$$

K étant une constante qui ne dépend que de la construction de l'instrument.

La distance x de la roulette R au centre du plateau D est donc à chaque instant rigoureusement proportionnelle à la vitesse de rotation du pignon P, c'est-à-dire à celle de l'anémomètre qui commande électriquement ce pignon. L'enregistrement de la vitesse du vent se réduit alors à celui des déplacements de R ou de l'extrémité de la vis V, ce qui n'offre plus aucune difficulté.

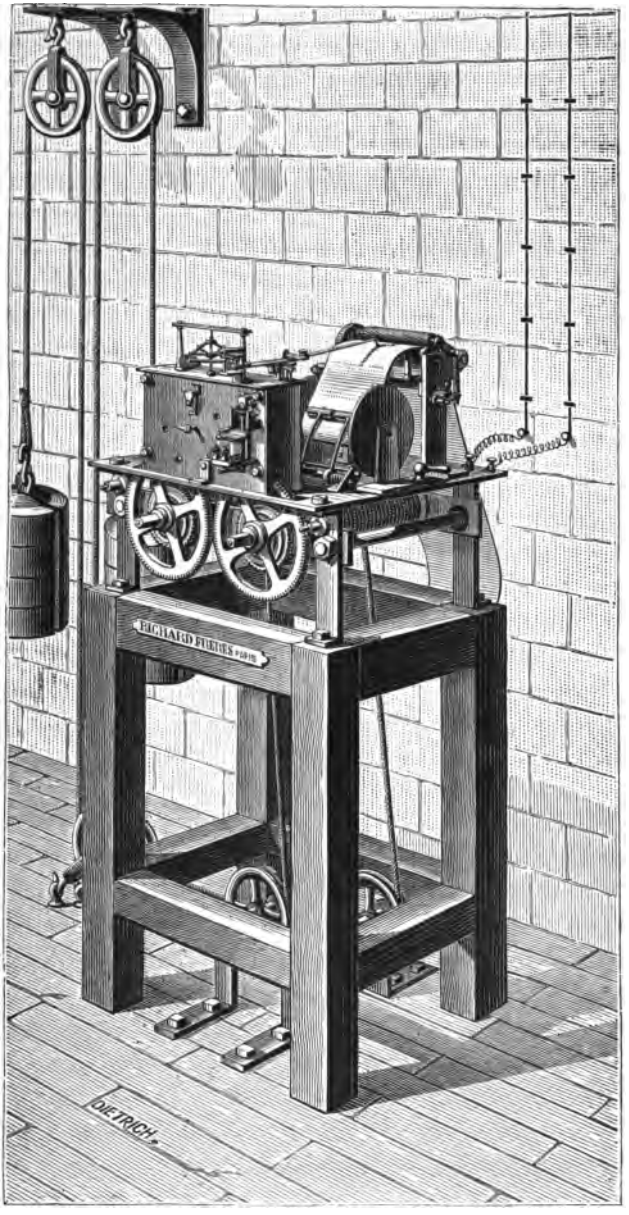
En réalité, comme le mouvement du plateau D est continu et celui du pignon P saccadé, la roulette R n'est pas rigoureusement fixe sur le plateau pour une vitesse constante de P; elle oscille entre deux positions extrêmes, qui sont d'autant plus rapprochées que les mouvements successifs du pignon P sont plus nombreux pour une vitesse donnée du vent. Dans la pratique, les positions extrêmes, entre lesquelles est toujours comprise l'oscillation de la roulette R, sont assez rapprochées pour que le tracé de l'enregistreur montre non des dents, mais un léger épaississement du trait.

L'instrument ne peut donner d'indications exactes que si l'on évite tout glissement de la roulette sur le plateau D. Pour cela, au lieu de poser la roulette sur un seul plateau, on la place entre deux plateaux parallèles, dentés sur les bords et commandés par un même pignon qui les fait tourner en sens contraire avec des vitesses rigoureusement égales. Ces plateaux sont serrés contre la roulette par un ressort qui agit sur le centre de l'un d'eux; la roulette, comprimée ainsi entre deux disques qui tournent en sens contraire, est forcée de tourner sur elle-même sans qu'il puisse y avoir de glissement; s'il se trouve quelque inégalité à la surface des plateaux, le ressort qui les rapproche cède sans que cette irrégularité puisse devenir une cause d'erreur.

Les deux plateaux sont actionnés par un mouvement d'horlogerie à vitesse uniforme (régulateur genre Foucault ou pendule conique). Le pignon P est relié à un autre mouvement d'horlogerie, muni d'un échappement qui est commandé par l'électro-aimant de l'anémomètre; de la sorte, la force nécessaire pour faire tourner le pignon P et déplacer la plume de l'enregistreur est empruntée à un ressort, et l'on ne demande au courant électrique que le travail très petit qui suffit à déclencher l'échappement.

MM. Richard frères ont construit sur ce principe deux instruments différents. Le premier (*fig.* 2) donne rigoureusement à chaque instant la vitesse en mètres par seconde. Les deux plateaux D tournent alors avec une grande rapidité (un tour par seconde) et le mouvement d'horlogerie qui les actionne est muni d'un régulateur genre Foucault. L'anémomètre envoie, dans l'électro-aimant qui commande le pignon P, un courant toutes les fois que le vent a parcouru 1^m. Dans ces conditions, on comprend aisé-

Fig. 2.



ment que la roulette R arrive presque instantanément à sa po-

sition d'équilibre au moindre changement de vitesse du vent.

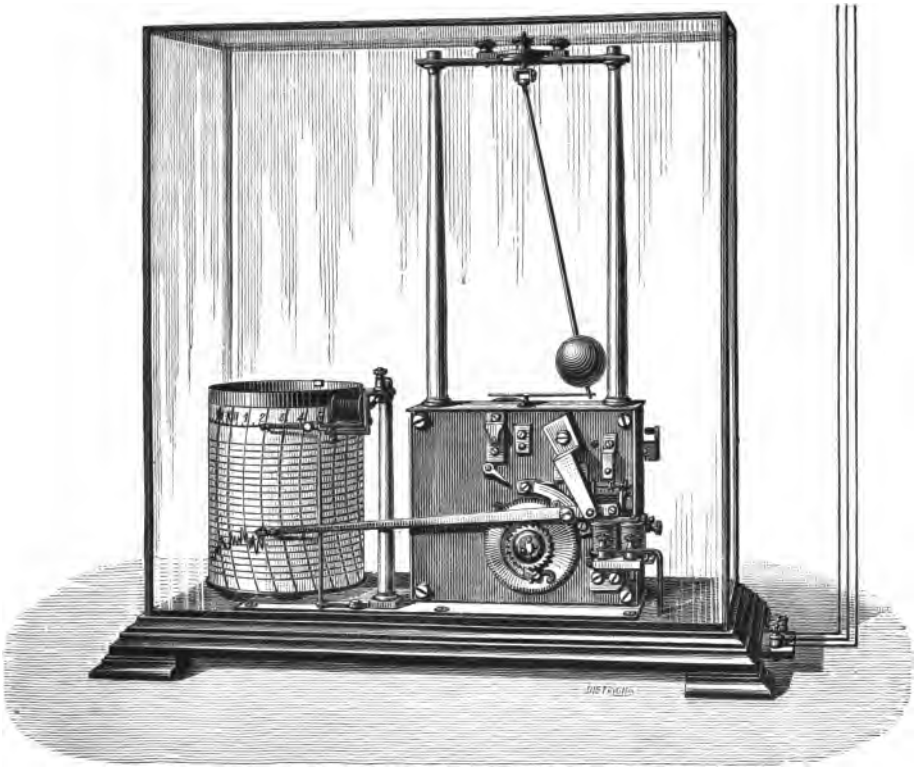
La plume enregistre la vitesse du vent sur une bande de papier sans fin qui défile de 3^{mm} au moins par minute; dans certains modèles, on va même jusqu'à $0^{mm},5$ par seconde. Enfin tous les rouages sont mus au moyen de poids mouflés, qu'il suffit de remonter une fois par jour.

Cet instrument donne les indications les plus intéressantes et permet de suivre les moindres variations de la vitesse du vent; mais il consomme une énorme quantité de papier (au minimum, une bande de $4^{m},50$ environ par jour, et jusqu'à 43^{m} dans les appareils à grande vitesse); il faut ensuite un temps considérable pour relever et discuter ces courbes. Dans la plupart des cas, il suffit d'employer le deuxième modèle.

Dans celui-ci (*fig.* 3), un pendule conique règle le mouvement des plateaux qui font un tour seulement par minute, et l'électro-aimant reçoit de l'anémomètre un courant toutes les fois que le vent a parcouru 25^{m}. La plume inscrit la vitesse du vent sur un cylindre, mis en rotation par un mouvement intérieur comme dans la plupart des instruments enregistreurs de MM. Richard, et qui fait sa révolution en vingt-cinq heures. On change le papier chaque jour et il suffit d'une bande de 41^{cm} de longueur. L'inconvénient de ce modèle est qu'il ne donne pas rigoureusement la vitesse vraie des coups de vent de très courte durée : il faut un certain temps pour que la roulette aille trouver sur les plateaux sa position d'équilibre, et l'on n'est certain d'avoir la vitesse vraie du vent que si la plume marque un trait sensiblement horizontal, ce qui exige que le vent conserve une vitesse constante pendant quelques minutes. Quand le trait monte rapidement, l'appareil donne une vitesse trop faible; l'indication est trop forte au contraire quand le trait descend. Il est facile de s'assurer que ces deux causes d'erreur se balancent, de manière que la vitesse moyenne obtenue pendant une certaine période est exacte; l'amplitude des variations extrêmes est seulement un peu réduite. Dans tous les cas, l'instrument indique le moment précis où se sont produites les moindres variations de vitesse du vent, et, s'il était nécessaire, on pourrait calculer les vitesses absolues à chaque instant en mesurant l'inclinaison de la tangente aux différents points de la courbe.

Cet instrument a sur le premier l'avantage d'être beaucoup plus simple, moins encombrant et d'une lecture plus facile; il suffit dans la plupart des cas et donne encore des indications plus détaillées et plus commodes à relever que tous les anémomètres en-

Fig. 3.



registreurs construits jusqu'à ce jour. Si l'on voulait avoir une installation tout à fait complète, le mieux serait d'associer les deux instruments, en les réunissant à un même anémomètre, de sorte que le second fonctionnât seul en temps ordinaire et mît automatiquement le premier en mouvement dès que la vitesse du vent dépasserait une certaine valeur, 15^m ou 20^m par exemple. MM. Richard étudient en ce moment une disposition de ce genre pour l'anémomètre de la tour Eiffel.

Ces appareils donnent la vitesse du vent en mètres par seconde;

mais, dans certains cas, on a besoin de connaître la vitesse moyenne pendant une certaine période ou, ce qui revient au même, le chemin total parcouru par le vent pendant ce temps. Il faudrait alors mesurer la surface correspondante du diagramme tracé par l'enregistreur. MM. Richard ont rendu cette mesure inutile en ajoutant un second électro-aimant, que l'on voit vers le haut du cylindre enregistreur (*fig.* 3). Cet électro-aimant reçoit un courant et marque sur le cylindre un trait toutes les fois que le vent a parcouru 5^{km}. Il suffit donc de compter le nombre de traits marqués dans un temps donné à la partie supérieure du papier pour avoir le chemin total parcouru par le vent, ou la vitesse moyenne pendant ce temps, tandis que la plume qui est à la partie inférieure donne la vitesse à chaque instant.

Les cinémographes de l'un et de l'autre système sont réglés mécaniquement, indépendamment de l'anémomètre. Au moyen d'une roue dentée portant trente dents par exemple, et qu'un régulateur fait tourner à raison d'un tour par seconde, on peut envoyer dans l'appareil trente contacts par seconde, exactement comme si un vent de 30^{m} passait sur l'anénomètre; on vérifie alors si la plume indique exactement une vitesse de 30^{m}, et l'on règle les mouvements d'horlogerie de manière que cette condition soit réalisée. Il n'y a plus alors d'autre erreur à craindre que celles qui proviennent de l'anémomètre lui-même.

Nous n'avons décrit jusqu'ici que le cinémographe, c'est-à-dire l'instrument qui enregistre la vitesse de rotation de l'anémomètre; comme l'anémographe est réglé directement par lui-même, on peut lui associer un anémomètre quelconque, par exemple le moulinet de Robinson, qui est employé dans la plupart des observatoires. Cet instrument présente des inconvénients de plusieurs sortes; MM. Richard lui ont substitué un moulinet construit de la manière suivante :

Il est formé de six ailettes en aluminium, inclinées à 45° et rivées sur des bras en acier très légers, portés par une tige horizontale. Comme ce moulinet tourne dans un plan vertical et doit toujours se présenter normalement au vent, la tige horizontale qui le porte forme girouette et est montée sur une hampe verticale, placée très près du plan de rotation des ailettes, afin de diminuer le plus possible le chemin angulaire à parcourir pour l'orientation.

Le diamètre du moulinet est calculé pour qu'il fasse exactement un tour pour 1^m de vent; la marche est d'ailleurs vérifiée, comme d'ordinaire, au moyen d'un manège installé dans une salle dont l'air est calme, et, s'il est nécessaire, on détermine la table de correction du moulinet. Cet instrument complet ne pèse que 150^{gr} et il offre à l'air une surface de 6^{dmq} aussi bien pour se mettre en marche que pour s'arrêter; on n'a donc pas à redouter avec lui l'inertie que présentent presque tous les autres anémomètres. Aussi il se met instantanément en marche dès que le vent souffle; il s'arrête aussitôt que le vent cesse et est assez sensible pour mesurer des vitesses qui ne dépassent pas $0^m,1$ à $0^m,2$ par seconde.

Ces instruments fonctionnent régulièrement depuis le 1er octobre 1888 au Bureau central météorologique et depuis le 18 juin 1889 au sommet de la tour Eiffel.

Les observations météorologiques sur la tour Eiffel;

Par M. Alfred Angot.

L'observatoire météorologique établi au sommet de la tour Eiffel depuis le milieu de juin 1889, par les soins du Bureau central météorologique, comprend les instruments suivants :

Instruments à lecture directe : baromètre à mercure; thermomètres à maxima et à minima, psychromètre;

Instruments enregistreurs ordinaires : baromètre; thermomètre; hygromètre; pluviomètre;

Instruments transmettant et enregistrant électriquement leurs indications à distance d'une manière continue : thermomètre; girouette; anémomètre pour la vitesse horizontale (cinémographe); anémomètre pour les courants verticaux.

Tous les instruments enregistreurs ont été imaginés et construits par MM. Richard frères.

Une fois par semaine au moins, et plus souvent quand cela est possible, on monte au sommet de la tour faire les observations directes qui doivent servir de contrôle pour les enregistreurs. Sauf

le baromètre, tous ces instruments sont disposés sur la petite plate-forme circulaire de $1^m,60$ de diamètre qui termine la tour et dont l'altitude est exactement de 300^m au-dessus du sol (336^m au-dessus du niveau de la mer). Les baromètres à lecture directe et enregistreur sont installés dans une des pièces qui sont au-dessus de la troisième plate-forme, à 280^m du sol. Enfin trois autres séries de thermomètres enregistreurs et à lecture directe sont disposés près du sol (pilier est), à la deuxième plate-forme (115^m) et au plancher intermédiaire entre la deuxième et la troisième plate-forme (195^m).

Les indications des instruments enregistreurs, corrigées par la comparaison avec les observations directes, seront relevées heure par heure. Ce travail considérable est terminé pour les observations de la vitesse horizontale du vent et de la température au sommet de la tour jusqu'à la fin de l'année 1889. Nous indiquerons les résultats les plus remarquables qu'ont fournis ces observations.

L'anémomètre a été installé le 18 juin 1889 et a fourni douze journées complètes d'observations en juin, 28 en juillet, 31 en août, 30 en septembre, 31 en octobre, 26 en novembre et 25 en décembre, soit en tout 193 journées, qui se divisent en deux périodes bien nettes, l'une qui correspond à la saison chaude, jusqu'au 30 septembre (101 journées) et l'autre qui correspond à la saison froide et comprend les trois derniers mois de l'année (92 journées). Nous considérerons séparément ces deux périodes, en rapprochant les observations obtenues au sommet de la tour de celles qui ont été recueillies pendant le même temps, avec un instrument identique, sur la tourelle du Bureau central météorologique, à 21^m au-dessus du sol, et à 500^m environ de distance horizontale de la tour Eiffel. Nous donnons dans le Tableau suivant les moyennes horaires de la vitesse du vent en mètres par seconde dans les deux stations et leur rapport; ces nombres sont de plus représentés graphiquement dans les *fig.* 1 et 2.

Vitesse du vent sur la tour Eiffel et au Bureau météorologique.

	Saison chaude (juin-septembre).			Saison froide (octobre-décembre).		
Heures.	Tour.	Bureau météorologique.	Rapport.	Tour.	Bureau météorologique.	Rapport.
h	m	m	m	m	m	m
0 (minuit)...	8,48	1,85	4,6	8,56	1,57	5,5
1	8,42	1,73	4,9	8,49	1,54	5,5
2	8,10	1,61	5,0	8,54	1,42	6,0
3	7,97	1,62	4,9	8,39	1,33	6,3
4	7,68	1,60	4,8	8,54	1,43	6,0
5	7,49	1,50	5,0	8,64	1,48	5,8
6	7,08	1,64	4,3	8,79	1,54	5,7
7	6,55	1,86	3,5	8,88	1,58	5,6
8	5,60	2,09	2,7	8,56	1,59	5,4
9	5,47	2,40	2,3	8,19	1,77	4,6
10	5,35	2,66	2,0	7,59	2,00	3,8
11	5,94	2,95	2,0	7,22	2,29	3,2
12 midi.....	6,03	3,07	2,0	7,24	2,43	3,0
13	6,32	3,19	2,0	7,31	2,43	3,0
14	6,44	3,07	2,1	7,35	2,47	3,0
15	6,21	2,82	2,2	7,21	2,13	3,4
16	6,46	2,85	2,3	7,65	2,10	3,6
17	6,69	2,78	2,4	7,89	1,89	4,2
18	6,73	2,47	2,7	8,43	1,84	4,6
19	6,98	2,11	3,3	8,60	1,72	5,0
20	7,72	2,02	3,8	9,00	1,65	5,5
21	8,12	1,98	4,1	8,62	1,67	5,2
22	8,60	2,07	4,2	8,47	1,62	5,2
23	8,75	1,95	4,5	8,37	1,42	5,9
Moyennes ..	7,05	2,24	3,1	8,19	1,80	4,6

Ce qui frappe tout d'abord dans ces nombres, c'est la force tout à fait imprévue que le vent possède à 300^{m} de hauteur dans l'air libre. La moyenne des 193 journées d'observations de 1889 donne au sommet de la tour une vitesse moyenne de 7^{m},59, tandis qu'au Bureau météorologique on n'a obtenu que 2^{m},13; le rapport de ces deux nombres est 3,6. On savait bien que la vitesse du vent augmente avec la hauteur; car, près du sol, les mouvements de l'air sont gênés par le frottement contre toutes les aspérités, collines, maisons, arbres, etc.; mais on n'admettait pas jusqu'ici une variation aussi rapide.

Un fait encore plus imprévu est la loi de la variation diurne de la vitesse du vent au sommet de la tour Eiffel.

Au Bureau météorologique, dans les deux périodes considérées, la vitesse du vent est maximum vers 1^h du soir et minimum dans la nuit, entre 3^h et 5^h du matin, comme on le voit par l'examen des nombres donnés plus haut et par celui des courbes inférieures (B. C. M.) des *fig.* 1 et 2; c'est du reste ce que l'on a observé dans toutes les stations ordinaires. La variation diurne de la vitesse du vent suit donc sensiblement la même loi que la variation diurne de la température; on remarque même que l'amplitude de la variation diurne de la vitesse du vent est plus grande pendant les mois chauds (*fig.* 1) que pendant les mois froids (*fig.* 2), exactement comme pour la température. Les raisons de cette similitude sont connues.

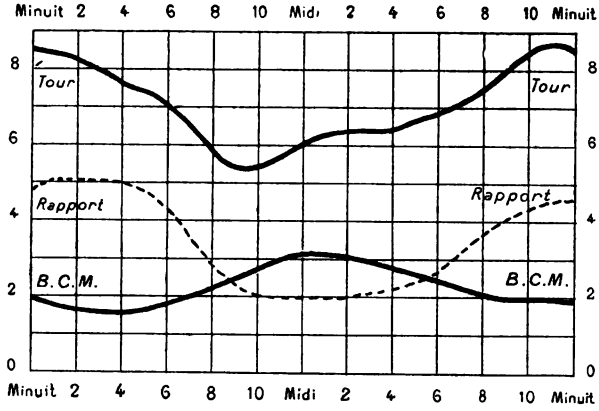
Sur les hautes montagnes, la vitesse du vent présente une variation diurne sensiblement inverse; elle est minimum vers le milieu du jour et maximum dans la nuit. Cette inversion s'explique aisément et tient aux dilatations et aux contractions de l'atmosphère qui accompagnent la variation diurne de la température; mais elle n'avait été signalée jusqu'à ce jour que dans les stations de montagnes les plus élevées (puy de Dôme, pic du Midi, Santis, etc.). Il est très curieux de la retrouver presque complète à la tour Eiffel; dans les mois chauds (courbe supérieure de la *fig.* 1), le maximum diurne s'y produit en effet vers 11^h du soir et le minimum vers 10^h du matin; dans les mois froids (courbe supérieure de la *fig.* 2), il y a deux maxima presque égaux vers 8^h du soir et 6^h du matin, séparés par un minimum peu important à 2^h du matin, de sorte que la vitesse du vent reste grande pendant toute la nuit et présente au contraire un minimum très marqué de 11^h du matin à 3^h du soir. L'amplitude totale est, du reste, moins grande dans la saison froide que dans la saison chaude, comme celle de la température.

Cette inversion dans la marche diurne de la vitesse du vent en haut de la tour et près du sol est encore mise plus nettement en évidence par les courbes ponctuées des *fig.* 1 et 2, qui représentent la variation diurne du rapport des vitesses dans les deux stations. Aussi bien dans les mois chauds que dans les mois froids,

le rapport des deux vitesses est maximum vers 3h du matin et minimum au milieu du jour.

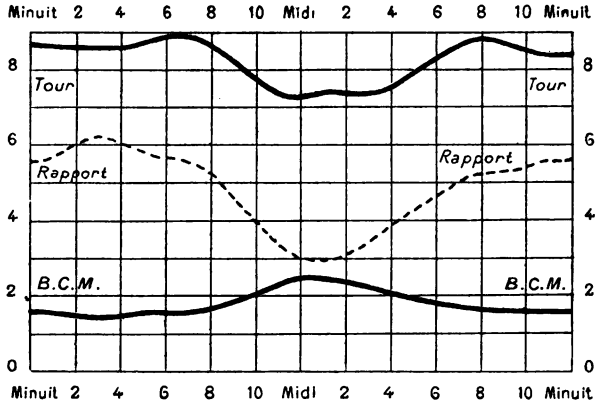
C'est certainement la première fois que l'on signale une va-

Fig. 1.



Juin-septembre.

Fig. 2.



Octobre-décembre.

Variation diurne de la vitesse du vent au sommet de la tour Eiffel et au Bureau central météorologique.

riation diurne semblable à une hauteur aussi faible dans l'atmosphère ; le régime du vent constaté sur les hautes montagnes existe donc déjà à moins de 300m de terre, à condition d'observer réellement dans l'air libre.

La discussion des observations de la température conduit à des conclusions analogues.

Nous avons pris comme terme de comparaison l'observatoire du parc Saint-Maur, qui est bien situé, en pleine campagne, et donne la température exacte de la région de Paris. Un point situé dans Paris même, plus près de la tour, n'aurait pas convenu, parce que la température de Paris n'existe pas, à proprement parler; elle est absolument artificielle et peut varier de plusieurs degrés suivant l'emplacement et l'exposition des instruments, l'état du ciel, la direction du vent, etc.

En admettant, comme d'ordinaire, une décroissance moyenne de 1° pour 180^{m}, la température devrait être constamment plus basse de 1°,59 au sommet de la tour qu'au parc Saint-Maur. Nous donnons dans le Tableau ci-dessous les différences observées réellement dans les températures moyennes vraies (moyennes des vingt-quatre heures) et aussi dans les moyennes des minima et des maxima de chaque jour.

Température sur la tour Eiffel et à Saint-Maur.

	Tour Eiffel.			Parc Saint-Maur.					
	Moyennes			Moyennes			Différence		
	vraies.	des minima.	des maxima.	vraies.	des minima.	des maxima.	des moyennes.	des minima.	des maxima.
	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Juillet 1889.	16,22	12,86	19,62	17,81	12,88	24,09	—1,59	—0,02	—4,47
Août.....	15,73	12,51	19,43	16,80	11,55	23,40	—1,07	+0,96	—3,97
Septembre.	13,50	10,79	16,61	13,66	8,87	19,88	—0,16	+1,92	—3,27
Octobre...	8,80	6,79	11,33	9,50	6,12	14,36	—0,70	+0,67	—3,03
Novembre.	6,21	4,59	7,75	5,86	2,58	9,53	+0,35	+2,01	—1,78
Décembre .	— 0,70	— 2,29	1,34	0,28	— 1,86	2,66	—0,98	—0,43	—1,32
Moy.....	9,96	7,54	12,68	10,65	6,69	15,65	—0,69	+0,85	—2,97

La discussion de ces nombres conduit aux résultats suivants :

Dans tous les mois sans exception, la température maximum diurne au sommet de la tour est plus basse qu'au pied; dans les mois froids de novembre et décembre, la différence ne s'écarte pas beaucoup de la normale, —1°,59; mais elle est beaucoup plus grande pendant les mois chauds; elle atteint —4°,47 en juillet. Les journées sont donc relativement froides au sommet. Par contre,

les nuits y sont très chaudes; non seulement la différence entre le sommet et la base n'atteint —1°,59 dans aucun mois, mais dans quatre mois sur six elle est positive : la température est plus élevée au sommet.

La cause principale de ces différences est la faiblesse des pouvoirs absorbant et émissif de l'air, qui s'échauffe très peu directement pendant le jour et se refroidit aussi très peu pendant la nuit. La variation diurne de la température doit donc être petite à une certaine hauteur dans l'air libre; elle est grande au contraire dans les couches inférieures de l'atmosphère, auxquelles se communiquent par contact les variations de température considérables que subit le sol. Dans les 200 ou 300 premiers mètres d'air à partir du sol, la décroissance de la température doit être ainsi très rapide pendant le jour et très lente pendant la nuit, où même il fait normalement plus chaud à une certaine hauteur que près du sol, quand le temps est calme et beau.

Les mêmes phénomènes ont été signalés fréquemment dans les observatoires de montagnes, mais ils y sont généralement moins remarquables. C'est que, dans ces stations, la masse de la montagne exerce encore une influence considérable sur les variations de température de l'air, tandis qu'à la tour Eiffel on est réellement dans l'air libre. Aussi l'amplitude diurne de l'oscillation de la température y est-elle extraordinairement faible. Nous donnons les valeurs de cette amplitude pour les six mois, en y ajoutant comme termes de comparaison les amplitudes observées au parc Saint-Maur et au sommet du puy de Dôme (altitude 1470^{m}).

Amplitude de la variation diurne de la température.

		Tour Eiffel.	Parc Saint-Maur.	Puy de Dôme.
1889.	Juillet.....	6°,76	11°,21	5°,83
»	Août.....	6,92	11,85	6,41
»	Septembre...	5,82	11,01	6,11
»	Octobre.....	4,54	8,24	4,04
»	Novembre....	3,16	6,95	4,10
»	Décembre....	3,63	4,52	4,51
	Moyennes...	5,14	8,96	5,17

On voit que l'amplitude de la variation diurne de la tempéra-

ture à la tour Eiffel est la même en moyenne qu'au sommet du puy de Dôme et plutôt même inférieure.

Il est facile de se rendre compte qu'il n'y a pas compensation rigoureuse entre le refroidissement relatif pendant le jour et le réchauffement apparent pendant la nuit que procure au sommet de la tour sa position isolée dans l'atmosphère. Dans le jour, en effet, l'air est agité dans les couches inférieures; des courants ascendants prennent naissance et amènent fréquemment à un niveau donné de l'air provenant des régions plus basses et plus chaudes. Pendant la nuit, au contraire, surtout si le temps est calme et beau, le refroidissement par rayonnement est considérable à la surface du sol et dans les couches inférieures; la température augmente alors avec la hauteur, au lieu de diminuer; l'équilibre de l'air est doublement stable, puisque la pression diminue et la température s'élève quand on s'éloigne du sol. L'excès relatif de température constaté pendant la nuit à un certain niveau dans l'air libre doit donc surpasser la différence inverse que l'on observe pendant le jour. C'est ce que l'on remarque en effet dans les nombres que nous avons publiés. La différence moyenne des maxima de Saint-Maur et de la tour est de $-2^{\circ},97$ au lieu de $-1^{\circ},59$; les maxima de la tour sont donc trop bas de $1^{\circ},38$; par contre, la différence moyenne des minima étant $+0^{\circ},85$, ceux-ci sont trop hauts de $2^{\circ},44$.

Il résulte de ce défaut de compensation entre le jour et la nuit que la température moyenne de la tour Eiffel doit être plus élevée que la loi de décroissance ordinaire des températures ne l'indiquait. Les six premiers mois donnent en effet comme différence des températures moyennes vraies de Saint-Maur et de la tour $-0^{\circ},69$, au lieu de $-1^{\circ},59$; l'excès moyen de température de la tour est de $0^{\circ},9$. Le mois de juillet est le seul qui présente la décroissance de température normale; dans tous les autres, la décroissance est beaucoup moins rapide, et même la température moyenne du mois de novembre a été plus haute en valeur absolue au sommet de la tour qu'à Saint-Maur. Cette dernière anomalie, extrêmement curieuse, tient à ce que souvent le régime atmosphérique peut être entièrement différent à 300^{m} de hauteur de celui que nous observons près du sol : c'est justement ce qui s'est produit en novembre dernier dans des conditions très remarquables.

Du 10 au 24 novembre a régné sur nos régions une période de hautes pressions, avec calme ou vents très faibles venant généralement de l'est, et température basse, surtout dans les derniers jours; on a noté à Saint-Maur les températures minima de $-1^{\circ},2$ le 21, $-3^{\circ},1$ le 22 et $-1^{\circ},8$ le 23; c'est seulement dans la journée du 24 que le vent passe au sud-sud-ouest et devient fort; la température remonte, le ciel se couvre et le mauvais temps commence. Or à la tour la température était encore basse le 21 avec vent faible du sud-est lorsque, vers 6^{h} du soir, le vent prend de la force, tourne au sud, puis se fixe au sud-sud-ouest; en même temps, la température, au lieu de baisser comme elle aurait dû le faire normalement pendant la nuit, remonte de plus de 8° et arrive à $+10^{\circ}$, à 2^{h} du matin, le 22, alors qu'à Saint-Maur on notait $-2^{\circ},5$. Depuis ce moment, les conditions n'ont pas changé au sommet et la température y est restée haute, de sorte que, dans tout l'intervalle compris entre le soir du 21 et le matin du 24, il a fait constamment beaucoup plus chaud à 300^{m} que près du sol. Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que rien en bas ne pouvait indiquer cette anomalie; pendant toute cette période, le ciel a été constamment d'une pureté parfaite, sans aucun nuage; un calme presque complet régnait près du sol, qui s'est trouvé ainsi pendant deux jours et demi surmonté d'une couche froide et stagnante d'air de 200^{m} environ de hauteur, alors qu'au-dessus soufflait un vent chaud du sud-sud-ouest animé d'une vitesse de 6^{m} à 8^{m} par seconde.

Les observations de température, aussi bien que celles de la vitesse du vent, montrent ainsi, d'une manière tout à fait imprévue, à quel point les conditions météorologiques à 300^{m} seulement de hauteur peuvent différer de celles que l'on observe près du sol. La station météorologique de la tour Eiffel est la première qui nous donne des observations faites dans l'air libre : c'est surtout à ce titre que, malgré son altitude relativement faible, elle nous promet des résultats des plus intéressants pour les différentes branches de la Physique du globe.

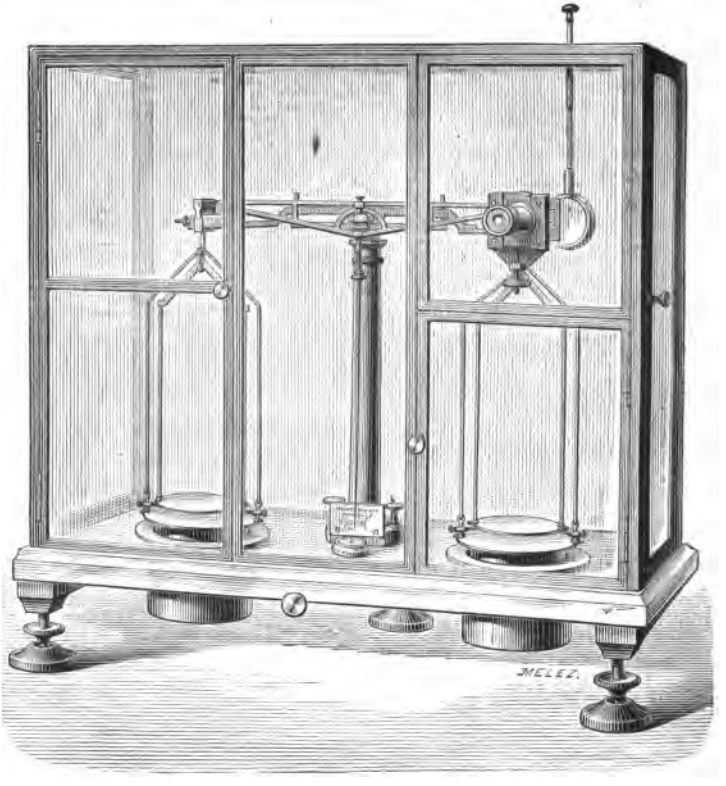
Balance de précision apériodique et à lecture directe des derniers poids; par M. P. Curie.

(Séance du 5 avril 1889.)

Cette balance de précision, d'une disposition nouvelle, permet d'exécuter les pesées avec une très grande rapidité (¹).

Les figures ci-après (*fig.* 1, 2) donnent une vue d'ensemble et une coupe verticale de l'instrument.

Fig. 1.



Cette balance possède comme organes spéciaux :

1° *Un micromètre* (*m*, *m*) portant un grand nombre de divisions et fixé à l'extrémité du fléau.

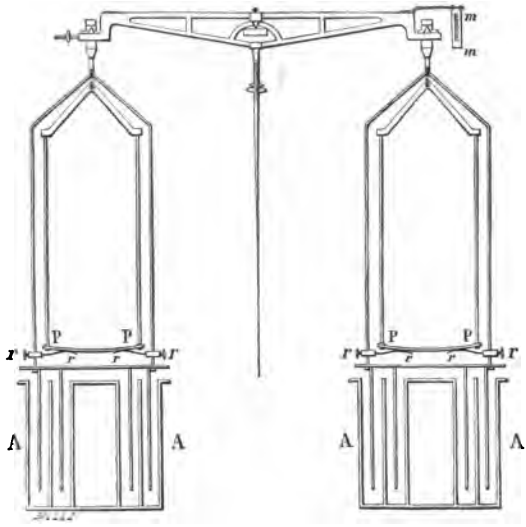
(¹) Ces balances sont construites par la *Société centrale de produits chimiques,* ancienne maison Rousseau.

2° *Un microscope* fixé dans les parois de la cage et braqué sur le micromètre. Ce microscope possède un réticule et un oculaire positif.

3° *Des amortisseurs à air* (A, A). — Les *cloches* ou parties mobiles des amortisseurs sont suspendues au-dessous des plateaux. Pendant le mouvement de la balance, elles pénètrent plus ou moins dans les *cuvettes* ou parties fixes des amortisseurs (¹).

Pour faire une pesée avec cet appareil, on commence, comme de coutume, à l'aide d'une série de poids, mais on s'arrête dans les

Fig. 2.



essais successifs au poids de $0^{gr},1$; on laisse ensuite le fléau de la balance s'incliner sous l'influence de la petite différence de charge qui reste encore entre les plateaux et on lit directement sur le micromètre, à l'aide du microscope, le restant de la pesée au $\frac{1}{4}$ ou au $\frac{1}{10}$ de milligramme.

Les avantages de ce système sont les suivants :

(¹) Les amortisseurs à air ont déjà été employés avec succès par MM. Bichat et Blondlot dans leur électromètre absolu, qui affecte précisément la forme d'une balance (voir *Journal de Physique*, 2e série, t. V, p. 325 et 457; 1886).

1° On évite tous les essais relatifs aux plus petits poids, c'est-à-dire la partie la plus longue et la plus délicate d'une pesée ordinaire.

2° L'emploi du microscope permet de placer le centre de gravité du fléau beaucoup plus bas que dans les balances ordinaires. Il en résulte une grande rapidité dans les mouvements de l'instrument.

3° Sous l'influence de l'amortissement, le fléau s'arrête en quelques secondes dans sa position d'équilibre.

4° La grande distance du centre de gravité à l'arête du couteau central permet d'obtenir facilement un réglage tel que la sensibilité soit indépendante de la charge placée dans les plateaux (1).

Détails de la construction de la balance. — La balance est montée sur un plan de verre qui supporte à la fois la colonne centrale, la cage et les boîtes des amortisseurs.

Le micromètre, obtenu par un procédé photographique, porte des traits et des chiffres. Il est généralement disposé pour fonctionner sur une étendue de 200^{mgr}. La chiffraison va de 0 à 200, mais chaque milligramme est divisé en $\frac{1}{2}$ (soit 400 divisions en tout). On apprécie sans hésitation la position du fil du réticule du microscope au $\frac{1}{5}$ d'une division près; on a ainsi le $\frac{1}{10}$ de milligramme.

Le fléau porte diverses pièces de réglage : une première pièce sert pour le micromètre, dont la direction doit être réglée avec soin. Des pièces spéciales servent à régler la longueur des bras, la position des couteaux, la position du centre de gravité du fléau.

---

(1) Le mode de lecture à l'aide d'un microscope braqué sur un micromètre mobile, fixé à l'extrémité de l'aiguille d'un instrument, est très avantageux et peut être appliqué à tous les appareils apériodiques. Même avec un faible grossissement, on a une sensibilité beaucoup plus grande qu'avec les échelles à réflexion : le nombre de divisions sur le micromètre peut être aussi grand que l'on veut, sans qu'il en résulte la moindre gêne; enfin, avec ce mode de lecture, les instruments sont plus ramassés, ne comportent pas d'installation spéciale et ne nécessitent pas l'obscurité. Par contre, ce système présente quelques inconvénients; pour que l'on puisse faire les lectures, il est nécessaire que l'instrument soit apériodique ou tout au moins s'arrête rapidement; enfin on est obligé d'avoir l'œil devant un oculaire, ce qui est parfois gênant. Nous avons déjà appliqué cette disposition, mon frère et moi, dans la construction d'un électromètre à bilame de quartz (*Journal de Physique*, 2e série, t. VIII, p. 162; 1889).

En tournant un bouton molleté, on peut déplacer légèrement le réticule du microscope. On peut compenser ainsi, immédiatement avant chaque pesée, les très petites différences de poids accidentelles qui existent toujours entre les deux côtés d'une balance.

Dans tout instrument de mesure, on doit régler convenablement :

1° La sensibilité ;
2° La précision ;
3° La rapidité des déterminations.

C'est à ce triple point de vue que nous allons passer en revue les organes de la balance.

Lectures au micromètre. — Lorsqu'une balance est en équilibre avec un excès de masse (m) dans l'un des plateaux, le fléau est incliné d'un angle θ donné par la formule

$$\tan\theta = \frac{mL}{Md}, \tag{1}$$

M étant la masse du fléau ;
L la distance entre l'arête du couteau central et celle d'un des autres couteaux ;
d la distance de l'arête du couteau central au centre de gravité du fléau.

L, M et d étant des constantes, on voit que la masse m est proportionnelle à la tangente de l'angle de déviation. Pour déduire exactement la masse m de la déviation, c'est donc la tangente et non l'angle qu'il s'agit de mesurer et que l'on mesure en effet dans le dispositif adopté.

Lorsque l'appareil est bien réglé, le prolongement du trait fixe horizontal du réticule du microscope doit passer par l'axe de rotation du fléau, et l'échelle micrométrique pour égalité de poids dans les plateaux doit être parallèle au trait vertical du réticule.

Quand la déviation s'est produite sous l'effet d'une différence de charge, le micromètre n'est plus vertical, et les traits de cette échelle sont légèrement inclinés vis-à-vis du trait horizontal du réticule du microscope. Cette circonstance ne donne aucune incertitude dans les lectures, lorsque les traits de l'échelle sont très courts et les déviations très petites.

L'expérience montre que les lectures au micromètre sont proportionnelles aux différences de charge à une approximation au moins égale à $\frac{1}{1000}$ de l'échelle totale. Il faut toutefois pour cela que la balance soit construite avec soin (la solidité et la fixité de l'arrêt semblent être une des conditions principales pour avoir de bons résultats). Le réglage des couteaux doit être aussi parfait que possible.

Invariabilité de la sensibilité avec la charge. — La formule (1) n'est rigoureusement exacte que si les arêtes des trois couteaux sont dans un même plan. S'il en est autrement, la sensibilité dépend de la charge M_1 placée dans les plateaux.

Supposons l'arête du couteau central à une distance $\mathfrak{I}$ au-dessus du plan passant par les arêtes des couteaux des extrémités, on a alors sensiblement

$$\tan\theta = \frac{mL}{Md + 2M_1\mathfrak{I}}. \tag{2}$$

Pour que les indications du micromètre soient les mêmes, quelle que soit la charge M_1 dans les plateaux, il est de toute nécessité que $\mathfrak{I}$ soit nul ou très petit, de telle sorte que $2M_1\mathfrak{I}$ soit négligeable devant Md. Ce résultat est pratiquement obtenu, d'une façon parfaite, au moyen des vis de réglage placées sous les couteaux. Il se trouve grandement facilité par l'emploi du microscope pour lire les déviations. En effet, les angles correspondant à une même différence de poids sont environ cent fois plus faibles que dans les balances ordinaires. C'est-à-dire que la distance d du centre de gravité à l'arête du couteau central est environ cent fois plus grande que d'ordinaire. Ainsi, dans une balance de 500^{gr} avec aiguille donnant le $\frac{1}{10}$ de milligramme, la distance d est seulement de $\frac{2}{100}$ de millimètre; dans la même balance avec lecture au microscope, on a $d = 2^{mm}$. Il en résulte que la même valeur de $\mathfrak{I}$, négligeable devant $d = 2^{mm}$, ne l'est pas devant $d = \frac{2}{100}$ de millimètre. Un petit défaut de réglage donnant une variation de $\frac{1}{500}$ dans la sensibilité pour la charge maximum dans le premier cas donnerait une variation de sensibilité de $\frac{1}{5}$ dans le second cas.

Flexion du fléau. — La flexion doit être bien faible dans les fléaux de balance, puisque l'on parvient à avoir une sensibilité in-

variable avec la charge. Nous avons voulu toutefois nous rendre compte de ce fait par des expériences directes. On fixe sur le fléau d'une balance trois petits micromètres, deux dans le voisinage des couteaux extrêmes et un vers le centre du fléau. Sur ces trois micromètres sont braqués trois microscopes fixes munis de réticules; on observe les trois micromètres avant et après avoir placé des poids dans les plateaux. On évite évidemment par cette méthode toute cause d'erreur provenant d'un mouvement d'ensemble du fléau. En opérant avec un fléau d'une balance de 500^{gr}, on trouve que la flexion très faible est proportionnelle à la charge. L'arête du couteau central s'écarte seulement de 11 microns de la ligne qui joint les arêtes des couteaux extrêmes, lorsque l'on charge les plateaux avec 500^{gr}.

Si faibles que soient des quantités de cet ordre de grandeur, elles devraient cependant avoir une action appréciable sur la sensibilité, qui devrait varier proportionnellement au carré de la charge. On peut s'en assurer par un exemple numérique et en se servant de la formule (2). Mais une compensation partielle doit se faire sans que l'on s'en doute au moment où l'on règle les couteaux; pour obtenir le meilleur effet, on doit placer les arêtes des couteaux extrêmes un peu au-dessus de l'arête du couteau central à une distance $\mathfrak{I}_1$; on a alors $\mathfrak{I} = -\mathfrak{I}_1 + KM_1$, et la formule (2) devient

$$(3) \qquad \operatorname{tang}\alpha = \frac{mL}{Md - 2M_1\mathfrak{I}_1 + 2KM_1^2},$$

où K dépend des propriétés élastiques du fléau, M_1 étant la charge variable placée dans les plateaux.

En discutant la façon dont varie la sensibilité, on voit que pour $\mathfrak{I}_1 = 0{,}83\,KM_2$, où M_2 représente la charge maximum et KM_2 la flexion maximum, on est dans les meilleures conditions. La sensibilité commence par augmenter quand on charge les plateaux; elle passe par un maximum, reprend sa valeur première pour une charge égale à 0,83 de la charge maximum, puis devient un peu plus faible pour les charges supérieures à celle-là; mais jamais la sensibilité ne varie plus que du $\frac{1}{6}$ de la variation qu'elle aurait éprouvée par la flexion si les trois couteaux avaient été réglés dans un même plan au début. Ainsi cette compensation instinctive qui

se produit dans le réglage rend encore six fois plus faibles les effets déjà presque insensibles dus à la flexion.

Influence des dimensions de l'arête des couteaux. — Les arêtes des couteaux peuvent être considérées dans une première approximation comme formées de surfaces cylindriques d'un très faible rayon de courbure. Cette circonstance ne change en rien les indications de l'instrument si les surfaces cylindriques sont bien régulières. Les trois lignes passant par les centres de courbure des sections droites de chacune des surfaces jouent le même rôle que des arêtes vives, et ce sont ces trois lignes qui doivent être dans un même plan pour que la sensibilité soit indépendante de la charge. Donc, quand les couteaux sont un peu émoussés, on peut encore avoir de très bons résultats en relevant encore un peu plus que de coutume les couteaux des extrémités au-dessus de l'arête du couteau central.

Loi du mouvement de la balance. — Lorsque la balance fonctionne sans amortissement, elle oscille indéfiniment comme un pendule. Seulement l'emploi du microscope, en abaissant le centre de gravité, rend les mouvements dix fois plus rapides.

Comme nous le verrons plus loin, les amortisseurs donnent à chaque instant une force antagoniste sensiblement proportionnelle à la vitesse. L'équation différentielle du mouvement avec amortissement sera de la forme

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + 2a\frac{\partial \theta}{\partial t} + b^2\theta = 0, \tag{4}$$

θ représentant l'angle de déviation compté à partir de la position d'équilibre, a et b étant des constantes, a étant proportionnel au coefficient d'amortissement.

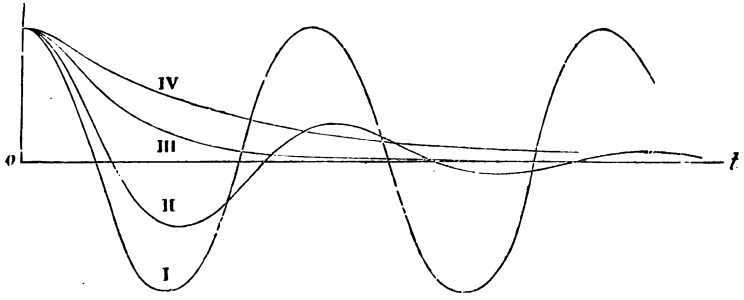
Si l'on suppose que l'amortissement, d'abord nul, prend successivement des valeurs de plus en plus grandes, on réalisera successivement tous les types de mouvement, dont quelques-uns sont représentés (*fig.* 3).

Le mouvement, d'abord pendulaire (courbe I), devient oscillatoire avec amplitudes successives décroissantes (courbe II); en même temps la pseudo-période va en augmentant. Puis, pour le

mouvement critique correspondant à $a^2 = b^2$ (courbe III), le mouvement devient apériodique, c'est-à-dire que le fléau se rapproche toujours de sa position d'équilibre sans la dépasser jamais. Puis, pour des amortissements plus grands encore, le mouvement devient de plus en plus lent, et la courbe s'étale de plus en plus (courbe IV).

Quel sera le meilleur amortissement pour que la déviation se réduise définitivement en un temps aussi court que possible, au $\frac{1}{1000}$, par exemple, de sa valeur initiale? Avec un amortissement trop faible, la balance oscillera un nombre considérable de fois avant que l'on obtienne ce résultat. Avec un amortissement trop fort, le mouvement sera trop lent. La théorie et l'expérience montrent que le meilleur mouvement est un mouvement très voisin du mouvement apériodique critique qui satisfait à la relation $a^2 = b^2$.

Fig. 3.



Si l'on ne peut réaliser exactement ce mouvement, la théorie et l'expérience montrent également qu'il vaut mieux s'en écarter dans le sens d'un amortissement un peu trop faible que dans celui d'un amortissement trop fort.

On voit facilement que $(b^2 - a^2)$ augmente avec la charge M, dans les plateaux; il est donc impossible d'avoir $b^2 - a^2 = 0$, quelle que soit la charge; on a alors adopté la règle pratique suivante :

L'amortissement est tel que la balance non chargée réalise sensiblement le mouvement critique pour lequel $b^2 = a^2$.

Lorsque la balance a sa charge maximum, on doit alors attendre trois ou quatre oscillations rapides avant l'arrêt.

Des amortisseurs à cloche. — Après avoir essayé des amortisseurs magnétiques ou à liquides, j'ai fini par adopter, comme étant de beaucoup préférables, les amortisseurs à air. Ils se composent de cylindres concentriques avec fond formant une espèce de *cloche* suspendue au-dessous des plateaux et entraînée comme ceux-ci dans le mouvement de la balance. Au-dessous de ce système s'en trouve un autre analogue, mais renversé et fixe : c'est la *cuvette* de l'amortisseur. Les cylindres des systèmes supérieurs et inférieurs ont des diamètres un peu différents, de telle sorte que les cylindres du système supérieur mobile plongent dans les gouttières laissées entre les cylindres inférieurs fixes, sans jamais toucher aux parois. La coupe donne un système en chicane (*fig.* 2).

Quand le fléau s'incline, la cloche pénètre plus ou moins dans la cuvette et la quantité d'air varie dans la cloche. L'air ne peut circuler instantanément par le chemin long et rétréci qu'il est obligé de suivre entre les cylindres; il en résulte des variations de pression qui suffisent pour produire l'amortissement.

Détermination du coefficient d'amortissement d'après les dimensions de l'amortisseur. — Dans les amortisseurs, l'air de la cloche se met en équilibre avec l'air extérieur en un temps inappréciable vis-à-vis de la durée d'oscillation des balances; cela résulte du fait même du fonctionnement de l'appareil. En effet, les forces mises en jeu devant être de l'ordre de grandeur des centigrammes, il suffirait que le gaz restât sans s'écouler sous la cloche pendant que celle-ci se déplace de $\frac{1}{100}$ de micron seulement pour qu'il en résultât une force antagoniste de 5^{cgr} avec une cloche de 7^{cm} de diamètre et une chambre à air de 1^{cm} de hauteur. On peut donc, à chaque instant, supposer que tout se passe comme si la cloche avait une vitesse de régime.

Soient

V le volume du gaz sous la cloche;
v la vitesse verticale de la cloche;
R le rayon de base de la cloche;
p l'excès de pression sous la cloche;
t le temps.

On a

$$dV = \pi R^2 v\, dt. \tag{5}$$

On trouve, pour la variation du volume d'un gaz qui s'écoule entre deux parois planes parallèles et rapprochées,

$$\frac{dv}{dt} = \frac{ae^3}{12 l \eta} p,$$

e étant la distance entre les deux surfaces;
l la longueur parcourue par le gaz;
a la largeur de la section d'écoulement;
η le coefficient de frottement intérieur de l'air.

Cette formule s'applique approximativement si, au lieu de surfaces planes, on a des surfaces cylindriques de rayon un peu grand vis-à-vis de leurs distances [1].

On a ici

$$a = 2\pi R,$$

d'où

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\pi R e^3}{6 l \eta} p; \tag{6}$$

les équations (5) et (6) donnent

$$p = -\frac{6 l \eta R}{e^3} v. \tag{7}$$

La force qui résulte de cette variation de pression est

$$F = \pi R^2 p = -\frac{6\pi l \eta R^3}{e^3} v;$$

en désignant par γ les coefficients d'amortissement $\frac{F}{v}$, c'est-à-dire la force antagoniste pour l'unité de vitesse, on a

$$\gamma = \frac{6\pi l \eta R^3}{e^3}. \tag{8}$$

---

[1] On a exactement pour le débit entre deux surfaces cylindriques concentriques, ayant R et r comme rayons,

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\pi}{8 l y}\left[(R^4 - r^4) - \frac{(R^2 - r^2)^2}{L\frac{R}{r}}\right] p.$$

Détermination du coefficient d'amortissement par expérience. — On peut calculer d'avance γ par la formule qui précède; on peut aussi le mesurer en étudiant le mouvement de la balance. L'équation différentielle de ce mouvement sera sensiblement

$$(9) \qquad (M\rho^2 + 2M_1L^2)\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} + L^2\gamma\frac{\partial\theta}{\partial t} + Mdg\theta = 0,$$

θ étant l'angle de déviation de la balance, g l'intensité de la pesanteur, γ l'amortissement total des amortisseurs, ρ le rayon de giration du fléau, et les autres lettres ayant même signification que précédemment. On peut vérifier facilement les conséquences de cette formule; en faisant varier la charge des plateaux M_1 ou la hauteur du centre de gravité, on obtiendra divers genres de mouvement à son gré.

Dans le cas où l'on veut mesurer γ, il vaut mieux choisir un mouvement oscillatoire pas trop amorti, afin d'avoir un nombre suffisant d'oscillations pour faire une bonne mesure de la pseudo-période T (durée d'une oscillation double) et du décrément logarithmique λ; on a

$$(10) \qquad \gamma = \frac{4\lambda}{T}\,\frac{M\rho^2 + 2M_1L^2}{L^2}.$$

Le moment d'inertie $M\rho^2$ du fléau peut se déterminer soit en faisant osciller le fléau seul après avoir déterminé d par la valeur de la sensibilité de la balance, soit en le faisant osciller autour d'un axe plus éloigné que le couteau du centre de gravité en le suspendant à l'aide de deux fils.

En faisant osciller la balance avec les plateaux seuls, on détermine aussi un petit terme de correction provenant de l'amortissement qui se fait en dehors de l'amortisseur.

Pour simplifier la construction, nous employons généralement des amortisseurs formés d'une seule cloche ABCDE (*fig.* 4) plongeant dans une gouttière cylindrique. L'amortissement est le même, que le dessus $\overline{BD}$ du milieu de la caisse de l'amortisseur soit ouvert ou fermé: ce résultat est bien conforme avec la théorie, puisque le volume de la chambre à air n'intervient pas.

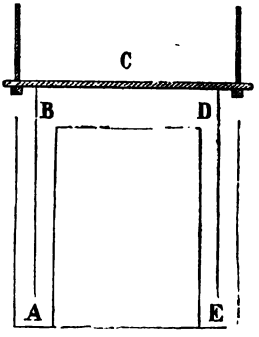
Voici, pour quelques amortisseurs de dimensions variées, les valeurs de γ mesurées par l'amortissement de la balance et cal-

culées par la formule (8)

$$\gamma = \frac{6\pi l \eta R^3}{e^3},$$

dans laquelle e est la distance entre la cloche et les parois; $l = 2\overline{AB}$ est le chemin parcouru par le gaz.

Fig. 4.



Nous avons pris $\eta = 0{,}00019$ en employant toujours les unités C.G.S. (γ est la force antagoniste en dynes pour une vitesse de la cloche de 1^{cm} par seconde).

			γ	
l.	R.	e.	calculé.	mesuré.
14,8	2,60	0,35	21,8	20,0
7,4	2,60	0,35	10,9	10,5
21,0	5,06	0,29	400,0	390,0
15,4	3,53	0,26	138,0	125,0
15,1	3,54	0,26	136,0	130,0
14,2	2,55	0,21	90,4	80,0
14,8	2,55	0,22	82,3	94,0
7,4	2,55	0,21	46,7	49,0

La distance e est connue d'une façon très incertaine, et elle intervient par sa troisième puissance dans la formule; des différences de $\frac{1}{10}$ à $\frac{2}{10}$ de millimètre dans la valeur de e suffisent pour expliquer les écarts entre le calcul et l'expérience. On voit que ces écarts sont d'autant plus prononcés que la valeur de e est plus faible.

Tout défaut de réglage dans la position de la cloche tend à diminuer l'amortissement.

On voit qu'on peut, dans un but déterminé, choisir approximativement l'amortisseur nécessaire; par exemple, dans la construction des balances, on cherche l'amortissement qui, sans poids dans les plateaux, donne le mouvement où les deux racines de l'équation caractéristique de l'équation différentielle sont égales entre elles; on a, dans ce cas,

$$\gamma = \frac{2}{L^2}\sqrt{M g d(M\rho^2 + 2M_1 L^2)}. \tag{11}$$

Les quantités qui rentrent dans cette formule peuvent être évaluées approximativement avant la construction définitive, en prenant, par exemple, pour ρ les $\frac{2}{3}$ de L et pour M_1 le poids approximatif des plateaux et de l'amortisseur. Quant à d, il est déterminé par la sensibilité qu'on veut donner à la balance, qui elle-même dépend de la grandeur des divisions du micromètre.

Pour un modèle de balance dont le fléau pèse 100^{gr} avec un micromètre donnant $\frac{1}{20}$ de millimètre par milligramme, il nous a fallu un amortissement total de 240, soit 120 par amortisseur. Pour la même balance avec centre de gravité cent fois moins loin du couteau (balance ordinaire), il faudrait un amortisseur dix fois moindre. On a avantage, au point de vue de la légèreté, à prendre des amortisseurs ayant la hauteur égale au diamètre.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1889.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CVIII et CIX, 1889, in-4°.

Annales de Chimie et de Physique, 6e série, t. XVI, XVII et XVIII, 1889, in-8°.

Annales télégraphiques, 3e série, t. XVI, année 1889, in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, 7e série, t. XII, 1886-1888, in-8°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, année 1889.

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 4e série, 42e année, janvier à décembre 1889.

L'Électricien, t. XIII, année 1889, in-8°.

Bulletin international de l'électricité, année 1889, in-4°.

La Chronique industrielle; par M. *Casalonga*, année 1889, in-4°.

La Revue industrielle, année 1889, in-4°.

Moniteur industriel, vol. XVI, année 1889, in-4°.

Revue internationale de l'Électricité et de ses applications, t. VI, 5e année, 1889, in-4°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie, t. XII, année 1889, in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. IX, 1888, in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires, publié par M. *A. Buguet*, 4e année, 1889, in-8°.

The Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. Vol. V, Part I à VII; vol. VI, Part I et II, in-8°.

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale, t. III, 4e série, 1889, in-4°.

Société nationale d'encouragement. Procès-verbaux des séances, année 1889.

Memorias de la Sociedad Cientifica « Antonio Alzate », t. I, nos 2 à 5, 1887 et 1888, n° 8, in-8°.

Anuario de la Oficina central meteorologica de Chile, t. XVIII, août à octobre 1886, in-8°.

Proceedings of the Royal Society, vol. XLV et XLVI.

Philosophical Magazine, fifth series, vol. XXVII and XXVIII, 1889.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band XXXVII à XXXVIII, 1889.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, Band XIII, 1889.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles, 3e série, vol. XXIII, et XXIV, in-8°.

Journal de la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg, t. XXI, 1889.

Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians, année 1889, n° 70.

Elektrotechnische Zeitschrift; herausgegeben vom elektrotechnischen Verein, Heft X, 1889.

The American Journal of Science, 3e série, vol. XXXVII et XXXVIII, 1889.

The Physical Society of London (Proceedings), vol. VIII et vol. IX, 1889.

Annales de l'École polytechnique de Delft, année 1889.

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1883, 2 vol. in-8°.

Pontificia Universita Gregoriana. — Bullettino meteorologico dell' Osservatorio del Collegio Romano, vol. XXVII, 1888.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens, année 1889; in-4°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburg. Session 1886-87; in-8°.

Cronica cientifica, revista internacional de Ciencias, t. XII, 1889.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens; t. V, année 1889.

Institutui meteorologic Romanei : Buletinul ministeruli agriculturei, industriei comerciului Saint Domeniilor.

The Electrician; vol. XX et XXI, 1889.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie; par M. *Stefan C. Hepitès*, t. III, 1887, in-4°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie, année 1889, in-8°.

Verhandlungen der physikalischen Gesellschaft zu Berlin in Jahre 1888. Berlin, G. Reimer, 1889, in-8°.

Traité théorique et pratique des moteurs à gaz; par M. *Aimé Witz*. Paris, E. Bernard et Cie, 1889; 1 vol in-12.

Production et vente de l'énergie électrique par les stations centrales; par M. *A. Witz* (Extrait de la *Soc. Ind. du nord de la France*). Paris, E. Bernard et Cie, 1889; br. in-8°.

Rapport sur les progrès de la Physique de 1878; par M. *A. Witz;* br. in-8°.

Compteur d'électricité; par M. *Hospitalier* (Extrait de l'*Électricien* 1888); br. in-8°.

Almanach-annuaire de l'Électricité et de l'Électrochimie, 5e année, 1889; in-12.

Œuvres de Henri Tresca, recueillies et mises en ordre par ses fils, MM. *Alfred, Édouard* et *Gustave Tresca :*

Notices sur les travaux scientifiques de M. H. Tresca.

Discours prononcés aux obsèques de M. Tresca.

Discours divers prononcés par M. Tresca.

Extraits des Comptes rendus de l'Académie des Sciences relatifs à l'écoulement des corps solides.

Extraits des Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Notes de M. de Saint-Venant relatives à la même question.

Extraits des Comptes rendus de l'Académie des Sciences relatifs à des questions de résistance des matériaux.

Extraits des Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Mémoires divers.

Notes diverses sur la résistance des matériaux.

Notes diverses sur l'écoulement des corps solides.

Mémoire sur le rabotage (Extrait du *Recueil des Savants étrangers*).

24 Rapports, Discours et Communication faits à la Société d'Encouragement.

Rapports et Conférences sur l'enseignement technique.

Procès-verbaux des expériences de Mécanique faites au Conservatoire des Arts et Métiers (1861-1876) (Extraits des *Annales du Conservatoire*).

Rapports aux Expositions universelles (1867-1873.)

Cours d'Hydraulique professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

Cours de Géométrie descriptive.

Contribution à l'étude de l'Électro-Physiologie (Thèse); par M. G. *Weiss*. Paris, Pichon, 1889; in-8°.

Entgegengekuppelte Fadenwagen zur absoluten Kraftmessung; von *G. Jaumann.* (*Akad. in Wien*, 1888); in-8°.

Ueber ein Schutzring Elektrometer mit continuirlicher Ablesung; von *G. Jaumann.* (*Zeitschrift für Elek.*, 1887); in-8°.

Einfluss rascher Potentialänderungen auf den Entladungsvorgang; von *G. Jaumann.* (*Akad. in Wien*, 1888); in-8°.

Die Glimmentladungen in Luft von normalem Druck; von *G. Jaumann.* (*Akad. in Wien,* 1888); in-8°.

Bemerkung zu der Abhandlung des Hern. G. H. von Wyss : « Ueber eine neue Methode zur Bestimmung der Rotationsdispersion einer activen Substanz und über einen Fall von anormaler Dispersion; » von *F. Lippich.* (*Ann. Wiedemann,* 1889); in-8°.

Der besänftigende Einfluss des Oels auf Wasserwellen; von *J. Weinberg.* (*Bull. de la Soc. imp. des Naturalistes de Moscou*, 1888); in-8°.

Note sur une nouvelle forme d'hygromètre à condensation; par M. *Henri Dufour* (*Bull. de la Soc. vaud. des Sciences nat.,* 1888); in-8°.

Hygromètre à condensation; par M. *Henry Dufour* (*Arch. des Sciences phys. et nat.,* 1889); in-8°.

Expériences sur l'intensité relative des harmoniques dans les timbres de la voix, faites au laboratoire de Physique de l'Université de Liège; par M. *F.-V. Dwelshauvers* (*Mémoires de la Soc. roy. des Sc. de Liège,* 1889); in-8°.

Aperçu général des dispositions et installations de l'Exposition universelle de 1889; par M. *J. Charton* (Extrait de la *Société des Ingénieurs civils;* avril 1889).

Relation entre le pouvoir rotatoire magnétique et l'entraînement des ondes lumineuses par la matière pondérable; par M. *A. Potier* (Extrait des *Comptes rendus;* mars 1889).

Traité d'Électricité et de Magnétisme, traduit par M. G. Séligmann-Lui, avec Notes et éclaircissements par MM. Cornu, Potier et Sarrau; par M. *J. Clerk Maxwell.* Tome II. Paris, Gauthier-Villars et Fils; 1889 (offert par MM. Gauthier-Villars et Fils).

Traité théorique et pratique d'Électrochimie; par M. *Donato Tommasi.* Paris, Bernard et Cie; 1889, in-8°.

Problème de Physique et de Chimie à l'usage des élèves de Mathématiques spéciales; par M. *Ch. Rivière.* Paris, Nony et Cie; 1889. 1 vol. in-8°.

Cours d'Astronomie pratique. Application à la Géographie et à la Navigation. 2e Partie : Détermination des éléments géographiques. Applications pratiques; par M. *E. Caspari.* Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1889. 1 vol. in-8°.

Ueber die Wirkung der Selbstinduction bei elektromagnetischen Stromunterbrechen; von *V. Dvorak* (*Akad d. Wien*, XCVIII, 1889); in-8°.

Les voltamètres régulateurs zinc-plomb. — Renseignements pratiques sur l'emploi de ces appareils, leur combinaison avec les dynamos et les circuits d'éclairage; par M. *Émile Reynier*, avec gravures et schémas d'installation. Paris, Baudry et Cie, 1889; in-8°.

Note sur les travaux effectués par le Service du nivellement général de la France en 1887; par MM. *Marx* et *Ch. Lallemand*, suivie de deux annexes sur la théorie du nivellement et sur le médimarémètre, nouvel appareil pour la détermination du niveau moyen de la mer; par M. *Ch. Lallemand* (Extrait des *Comptes rendus de l'Association géodésique internationale*). Neuchâtel, Attinger, 1888; in-4°.

Theorie der pendelartigen Schwingungen; von *M. Thiesen* (*Akad. zu Berlin*, 1889, XVIII); in-4°.

Beschreibung einiger Versuche über den Funken welcher bei der Unterbrechung einer Strombahn auftritt; von *P. Culmann;* br. in-8°.

Société d'encouragement pour l'Industrie nationale. Annuaire pour l'année 1889; in-12.

Sur la polarisation elliptique par réflexion vitreuse et métallique. — Extension des méthodes d'observation aux radiations ultra-violettes. — Continuité existant entre ces deux genres de phénomènes; par M. *A. Cornu* (Extrait des *Comptes rendus*, t. CVIII, 1889); in-4.

Sur les chaleurs spécifiques des dissolutions; par M. *E. Mathias* (Extrait du *Journal de Physique*, t. VIII, 1889); in-8°.

Zur Mechanik des Leuchtens; von *E. Wiedmann* (Extrait des *Annalen der Physik*, XXXVII, 1889); in-8°.

The comparative danger to life of the alternating and continuous electrical currents; by *Harold P. Brown*. New-York, 1889; in-8°.

Sur une reproduction artificielle du mirage et les franges d'interférences qui peuvent accompagner ce phénomène; par MM. *J. Macé de Lépinay* et *A. Pérot* (Extrait des *Comptes rendus;* mai 1889).

Historique et Catalogue de tous les instruments d'Optique supérieure appliqués aux Sciences et à l'Industrie; par M. *Ph. Pellin*, avec 1 planche et 220 figures intercalées dans le texte, 1889; 1 vol. in-8°.

Système de traction électrique pour voies étroites à profils en courbes et rampes très prononcées; par M. *A. Bandsept*. Bruxelles, Cie Imp. belge; in-8°, 1889.

Inducteurs dynamo-électriques (aéro, hydro et pyro-électrique); par M. *A. Bandsept*. Bruxelles, Cie Imp. belge; in-8°, 1889.

Traité pratique de la Thermométrie de précision; par M. *Ch.-Ed. Guillaume.* Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1889; 1 vol. in-8°.

Studiu asupra climei Bucarestilor in anii 1885-88. Part. I. *Temperatura aeruli;* par M. *Stefan C. Heptites;* in-4°.

La Thermodynamique et ses applications aux machines à vapeur; par M. *A. Madamet.* Paris, E. Bernard, 1889; in-8°.

Rapport sur la construction, les comparaisons et les autres opérations ayant servi à déterminer les équations des nouveaux prototypes métriques (Conférence générale des Poids et Mesures, septembre 1889); par M. *René Benoît*, in-4°. Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1889.

Sur la transformation des coefficients thermiques; par M. *Ch.-Ed. Guillaume* (Extrait des *Arch. des Sc. phys. et nat.*, t. XXII, 1889); in-8°.

Sulla densita e sulla tensione superficiale delle soluzioni di anidride carbonica e di protossido di azoto nell'acqua e nell'alcool; par MM. *Bellatti* et *Lussana* (Extrait de la *R. Istituto Veneto*, t. VII, 1889); in-8°.

Der Mathematiker Johann Samuel König und das Princip der kleinten Aktion; von *J.-H. Graf.* Bern. Wyss, 1889; in-8°.

Sur les propriétés physiques de la couche superficielle libre d'un liquide et de la couche de contact d'un liquide et d'un solide; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique,* t. XVIII; 1889); in-8°.

Sur un genre particulier d'expériences capillaires; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique*, t. XVIII, 1889); in-8°.

Quelques mots sur ma méthode du filage de l'huile; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique*, t. XV, 1888); in-8°.

Petite expérience relative à l'influence de l'huile sur une masse liquide en mouvement; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique*, t. XIV; 1887); in-8°.

Sur quelques effets curieux des forces moléculaires au contact d'un solide et d'un liquide; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique,* t. XIII; 1887); in-8°.

De l'énergie potentielle des surfaces liquides; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Ann. de l'Assoc. des Ing.* Liège, 1883 et 1885); 2 br. in-8°.

Réflexions sur les principales théories capillaires. Annonce de la preuve théorique de l'instabilité de l'équilibre de la couche superficielle d'un liquide; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait de l'*Assoc. française*, Nancy, 1888); in-8°.

Contribution à la théorie du siphon; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique*, t. XVII, 1889); in-8°.

Sur les moyens d'évaluer et de combattre l'influence de la capillarité dans la densimétrie; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique*, t. XVI, 1888); in-8°.

Sur les actions verticales exercées par les ménisques capillaires des liquides; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique*, t. VIII, 1884); in-8°.

Sur une nouvelle application de l'énergie potentielle des surfaces liquides; par M. *G. van der Mensbrugghe* (Extrait des *Bull. de l'Ac. R. de Belgique*, t. XLVI, 1878); in-8°.

Exercices de Physique et applications préparatoires à la Licence; par M. *Aimé Witz*. Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1889; 1 vol. in-8°.

L'énergie et ses transformations, mécanique, chaleur, lumière, chimie, électricité, magnétisme; par M. *R. Colson*. Paris, G. Carré, 1889; 1 vol. in-8°.

Annuaire de la Chimie industrielle et de l'Électrochimie; par M. *D. Tommasi*, 1re année, 1889. Paris, B. Tignol, 1889; 1 vol. in-12.

Erdbeben des 30 mai 1889; par M. *Ed. Hagenbach-Bischoff*; br. in-8°.

Johannes Bernoulli und der Begriff der Energie; par M. *Hagenbach-Bischoff*; br. in-8°.

Weiteres über Gletschereis; par M. *Hagenbach-Bischoff*. Basel-Baur, 1889; br. in-8°.

Die Temperatur des Eises im Innern des Gletschers; par MM. *Ed. Hagenbach-Bischoff* und *F.-A. Forel*. Basel-Baur, 1889; br. in-8°.

Ueber die Bestimmung von magnetischen Momenten, Horizontalintensitäten und Stromstärken nach absolutem Masse; von *F. Lippich* (Extrait des *Akad. Wien*). Feb. 1889; in-8°.

Ueber den Ausfluss stark verdichteter Luft; von *Salcher* und *John Whitehead* (Extrait des *Akad. Wien*). Feb. 1889; in-8°.

Le cylindrographe, appareil panoramique; par M. *P. Moessard* (Ire et IIe Partie). Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1889; 2 vol. in-18.

Le développement de l'image latente; par M. *A. de la Baume Pluvinel*. Paris, Gauthier-Villars et Fils, 1889; 1 vol. in-18.

Sur l'indice de réfraction de l'eau de mer; par MM. *J.-L. Soret* et *Ed. Sarasin* (Extrait des *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 1889); in-8°.

Influence des surfaces d'eau sur la polarisation atmosphérique (Note additionnelle); par M. *J.-L. Soret*. (Extrait des *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 1889); 1 vol. in-8°.

Accouplement élastique des arbres de transmission. Vapeur sèche à de grandes distances de la chaudière. Fermeture magnétique des lampes de sûreté des mines; par M. *N.-J. Raffard* (Extrait du *Bull. de la Soc. des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers*, 1889); in-8°.

Sui calori specifici e di trasformazione dei solfuri e seleniuri di argento e di rame Ag^2; Cu^2S; Ag^2Se; Cu^2Se; par MM. *Bellati* et *S. Lussana* (Extrait de l'*Inst. des Sc. de Venise*, t. VII, série VI); in-8°.

Madère, station médicale fixe. Climat des plaines. Climat des altitudes; par M. le Dr *C.-A. Mourao Pitta*. Paris, Alcan, 1889; 1 vol. in-8°.

Ouvrages offerts par M. van Aubel :

Exposé des nouvelles découvertes sur l'Électricité et le Magnétisme de MM. Œrstedt, Arago, Ampère, H. Davy, Erman. Schweiger, de la Rive; par MM. *Ampère* et *Babinet*. Paris, Méquignon-Marvis, 1822; in-8°.

Mémoires sur l'action mutuelle de deux courants électriques, sur celle qui existe entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre et celle de deux aimants l'un sur l'autre; par M. *Ampère* (Extrait des *Ann. de Chimie et de Physique*); in-8°.

Description d'un appareil électrodynamique; par M. *Ampère*. Paris, Bachelier, 1826; 2e édition in-8°.

Précis d'un Mémoire sur l'Électrodynamique; par M. *Ampère;* in-8°.

Sept études sur : 1° l'état sphéroïdal, 2° les explosions des machines à vapeur, 3° les trombes, 4° la grêle, 5° l'électricité atmosphérique, 6° la réfraction latérale, 7° l'adhésion entre les liquides,et les solides, en double original; par M. *Jean Luvini*, français et italien. Turin, Roux et Favale, 1884; in-4°.

Précis d'analyse qualitative, voie humide et réactions de la flamme selon Bunsen; par M. le Dr *Vincenz Wartha*. Traduit par M. Ch. Baye. Paris, A. Delahaye, 1877; in-4°.

Metronomische Beiträge n° 1 mit Hülfstafeln zur Berechnung von Volumen, und Gewichts-Bestimmungen, mit Rücksicht auf die Schwankungen der Dichtigkeit des Wassers und der Luft, und auf die unter dem Einfluss der Wärme stattfindenden Veränderungen der Dimensionen der zu messenden und zu wagenden Körper; von *W. Foerster*. Berlin, F. Dümmlers; in-4°.

Ueber die Reduktion der Angaben von Gasthermometern auf absolute Temperaturen. Inaugural-Dissertation; von *Bernhard Weinstein*. Berlin, Schade, 1881.

Sur la transmission de la force par l'air comprimé à Paris; par M. *A. Reidler*, br. in-4°.

Rapport sur le transport et la distribution de la force motrice par l'air comprimé dans la ville de Paris; par M. l'ingénieur *J. François;* br. in-4°.

Exposé des diverses applications de l'air comprimé; br. in-4°.

Nomenclature des diverses applications de l'air comprimé et de l'électricité installées par la Compagnie Parisienne de l'air comprimé et en marche au 1er juillet 1889; br. in-4°.

Catalogue des appareils d'acoustique; par M. *Rudolph Kœnig*, 1889; 1 vol. in-8°.

Compteur totalisateur à deux roulettes et à mouvement différentiel; par M. *N.-J. Raffard* (Extrait du *Bulletin de la Société des anciens élèves de l'Ecole Nationale des Arts et Métiers*); 1889; in-12.

Une révolution dans l'éducation; par M. *D. Merle*. Paris, Hugonin, 1889; in-12.

Sur un dispositif de frein de Prony destiné à l'évaluation exacte des couples moteurs; par M. *Hillairet* (Extrait des *Comptes rendus*, novembre 1889); in-4°.

Electrical distribution of light, heat and power, with partial List of deaths from electric lighting circuits. New-York, 1889; in-18.

Deuxième Rapport sur la mesure et la vérification de la conductibilité des paratonnerres; par M. *Terquem*.

Recherches sur la polarisation rotatoire magnétique dans le spath d'Islande (Thèse); par M. *Chauvin*. Paris, Gauthier-Villars, 1889; in-4°.

Alcune ricerche sull'occlusione dell'idrogeno nel ferro e sulla tenacità di qualche metallo che abbia assorbito un gas; par MM. *Bellatti* et *Lussana* (Extrait de l'*Atti dell'Istituto veneto di Scienze, Lettere ed Arti*, t. VII, série VI, 1889); in-8°.

Zwei Formen von Spectrographen; von *H. Ebert* (Extrait des *Ann. der Physik und Chemie*, t. XXXVIII, 1889); in-8°.

Zum zweiten Hauptsatz der mechanischen Wærmetheorie; von *E. Wiedemann* (Extrait des *Ann. der Physik und Chemie*, t. XXXVIII, 1889); in-8°.

Table générale des matières contenues dans les Volumes I à X de la 3e série du *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, comprenant les noms des auteurs mentionnés dans l'Ouvrage et suivie de la Table générale des planches gravées et des dessins sur bois, 1874 à 1883 inclusivement. Paris, 1889; in-4°.

Physical Memoirs selected and translated from foreign sources under the direction of the Physical Society of London. Vol. I, Part 2; in-8°.

Recherches sur la résistance électrique du bismuth; par M. *Ed. van Aubel* (Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XVIII, 1889).

Deux méthodes récentes pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques; par M. *Ed. van Aubel* (Extrait de l'*Electricien*, 1889).

Traité élémentaire de l'énergie électrique, t. I. Définitions. Lois générales. Applications à la mesure; par M. *F. Hospitalier*. Paris, 1890; 1 vol. in-8°.

Les moteurs à gaz; par M. *A. Witz* (Extrait de la *Revue technique de l'Exposition universelle de* 1889). Paris, E. Bernard; in-8°.

Les unités de puissance. Cheval-vapeur. Kilowatt et Poncelet; par M. *A. Witz* (Extrait de la *Soc. Ind. du Nord de la France;* 1890).

Zur Geschichte der Brennspiegel; von *F. Wiedemann* (Extrait des *Annalen der Physik und Chemie*, t. XXXIX; 1890).

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1890.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1890.)

BUREAU.

MM. MALLARD, *Président.*
FRIEDEL, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
VASCHY, *Secrétaire.*
COLARDEAU, *Vice-Secrétaire.*
MAURAT, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. BECQUEREL (Henri). 1888.
BERGER.
JOLY.
LE CHATELIER (H.).

BASSOT. 1889.
EIFFEL.
NERVILLE (DE).
SARRAU.

ARSONVAL (D'). 1890.
BARON.
CASPARI.
RENARD.

Membres non résidants :

MM. BAILLAUD (Toulouse). 1888.
BELLATI (Padoue).
ÉLIE (Abbeville).
STOLETOW (Moscou).

MACÉ DE LÉPINAY (Marseille). 1889.
PFAUNDLER (Inspruch).
SORET (Louis), (Genève).
WITZ (Lille).

DAMIEN (Lille). 1890.
GUILLAUME (Zurich).
POLLARD (Brest).
THOMPSON (S.P.) (Londres).

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.
1888.		ROMILLY (de).
1889.		MASCART.

MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **FIZEAU** (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.
STOKES (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir WILLIAM THOMSON, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.
BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut.
BELL (**Alex. Graham**), de Washington.
BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
JANSSEN (**J.**), Membre de l'Institut.
BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

MEMBRES A VIE (²).

PUYFONTAINE (COMTE DE), 34, avenue Friedland.
* D'ALMEIDA, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
* WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut.

(¹) *Membres honoraires décédés :*

MM.	A. BECQUEREL.	1874-78.
	BILLET.	1876-82.
	V. REGNAULT.	1876-78.
	SECCHI.	1876-78.
	PLATEAU.	1880-83.
	JAMIN.	1882-86.
	EDLUND.	1884-88.
	BROCH.	1878-89.
	JOULE.	1878-89.
	HIRN.	1890-90.

EXTRAIT DES STATUTS, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

* Pérot, Dessinateur et Graveur.

* Niaudet, Ingénieur civil.

Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.

* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.

* Jamin, Membre de l'Institut.

Gernez, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

Maurat, Professeur honoraire au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.

Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville.

Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 15, rue Drouot.

Duclos, ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Sainte-Croix de Volvèstre (Ariège).

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), 3, rue Taitbout.

Poussin (Alexandre), Ingénieur, au château de La Houblonnière, par Lisieux.

Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.

* Brion, Professeur de physique.

Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.

Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.

Blondlot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

Guébhard, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 6, rue Le Goff.

Raffard (N.-J.), Ingénieur, 16, rue Vivienne.

Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.

Bordet (Lucien), Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon.

* SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Membre de l'Institut.

D'ABBADIE, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

VILLIERS (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

JAVAL, Député, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

LEMONNIER, ancien élève de l'École Polytechnique, 45, rue de Saint-Pétersbourg.

* TERQUEM, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

GROSSETESTE (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

MARTIN (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

* MEYER (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

GRAY (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

RODDE (Ferd.), 3, cité Magenta.

FRIEDEL, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RODDE (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

* THOLLON, Physicien à l'Observatoire de Nice.

GARIEL (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

BARON, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

BUCHIN, 11, rue Roland, à Bordeaux.

RIVIÈRE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

* MONCEL (comte DU), Membre de l'Institut.

JOUBERT, Inspecteur de l'Académie de Paris, 67, rue Violet.

* CABANELLAS, Ingénieur électricien.

* BRÉGUET (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

PELLAT, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

DUFET, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard du Montparnasse.

* RAYNAUD, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

LEBLANC, ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin Anglais, au Raincy.

POINCARÉ, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

MM. Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

Romilly (de), 8, rue de Madrid.

Roger, ancien Chef d'institution, 161, rue Saint-Jacques.

Brillouin, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue de la Planche.

Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Dollfus (Eugène), Chimiste fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Ogier (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Duclaux, Membre de l'Institut, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

Kœchlin (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

Brewer (fils), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

Le Cordier (Paul), Docteur ès Sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

Vaschy, Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

Palmade, Professeur au lycée de Saint-Etienne.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institut catholique, 175, rue de Vaugirard.

Gouloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

Foussereau, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

Rigout, Préparateur de Chimie à l'École Nationale des Mines.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Gerboz (P.-C.), Constructeur d'instruments de précision.

Bandsept, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.

Vautier (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

Jénot, Professeur au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

Godard (Léon), Docteur ès sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

Compagnie des Chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann.

Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire.

WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

WEISS, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 12, place Saint-Sulpice.

LEMSTRÖM (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

SEBERT, Général d'Artillerie de Marine, 13, rue de la Cerisaie.

MASSON (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MALLARD, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 3, rue Soufflot.

DYBOWSKI, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg (Bel-Air).

LEDUC, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

RAYMOND, Ingénieur des Constructions navales à Toulon.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villers.

TOUANNE (DE LA), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

VIOLLE, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

NERVILLE (DE), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

MESLIN, Professeur au Lycée de Poitiers, 16, rue Neuve-de-la-Mairie.

LYON (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

* JENNESSON, Ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LAURENT (Léon), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon.

RODOCANACHI (Emmanuel), 8, avenue Hoche.

PAVLIDÈS (Démosthènes), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.

DEFFORGES (le Commandant G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de Latour-Maubourg.

CADOT, Professeur au Lycée de Quimper.

JOLY, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 57, rue Claude-Bernard.

LEROY, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, Sous-Directeur du Laboratoire des recherches à la Sorbonne, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

VERRIER (Gabriel), Ingénieur électricien, ancien élève diplômé de l'École Centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

Godron (H.), Élève-Ingénieur à l'École des Ponts et Chaussées, 18, rue du Vieux-Colombier.

Poincaré (Lucien), Agrégé, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon.

Wunschendorff, Ingénieur des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

Arnoux (René), Ingénieur civil, 30, boulevard Victor-Hugo, à Neuilly-sur-Seine.

Curie (Pierre), Préparateur de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 5, avenue de Sceaux, à Fontenay-aux-Roses.

Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 96, boulevard Saint-Germain.

Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin, 25, rue Saint-Vincent-de-Paul.

Renault, Licencié ès Sciences physiques, 13, rue Méchain.

Broca (André), Ancien élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 211, boulevard Saint-Germain.

Menier (Henri), 8, rue de Vigny.

Carvallo, Professeur au Lycée Saint-Louis, 19, villa Saïd.

Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

Cailho, Ingénieur des Télégraphes, à Montpellier.

Favé, Ingénieur hydrographe, 11, passage de la Visitation.

Strauss, Capitaine du Génie, attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone Co*, 257, West, 44th Street, à New-York (États-Unis).

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Prague, (Autriche).

Le Chatelier (André), Ingénieur des constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et chaussées attaché au service des phares, 6, rue Bizet.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABDANK-ABAKANOWICZ, Ingénieur, 92, quai du Parc, à Saint-Maur.

ABOILARD (Louis), Constructeur de lampes à incandescence, 7, rue Bleue.

ABRIA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, quai Bacalan, à Bordeaux.

ADAM, Professeur au Lycée de Châteauroux.

ALBERT (Fernand), Professeur au Collège de Châteaudun.

ALEXANDRE (Henri), Ingén. des Arts et Manufactures, 184, rue de Belleville.

ALEXÉEFF, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ALLUARD, Correspondant de l'Institut, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constr. d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté catholique des Sciences, 25, rue du Plat, à Lyon.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

APPERT (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 34, rue des Chasses, à Clichy.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (René), Ingénieur civil, 30, boulevard Victor Hugo, à Neuilly-sur-Seine.

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARRAGON, Professeur au Lycée de la Guadeloupe.

ARSONVAL (Dr d'), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur suppléant au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences de Nancy.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 8 *bis*, rue Claude-Bernard.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 3, rue des Batignolles.

AUDIBERT, Professeur au Collège de Béziers.

AUGUEZ (Émile), Sous-Directeur des contributions indirectes, à Saint-Quentin.

AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Professeur de Physique, 38, boulevard d'Italie.

BABLON, 42, rue Boulard.

MM.

BAGNERIS (Dr **Eugène**), Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine 12, rue Grue, à Reims.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Pau.

BANDSEPT, Ingénieur, 58, chaussée de Wavre, à Bruxelles (Belgique).

BANET-RIVET, Professeur au Lycée Charlemagne.

BARBIER (**Paul**), Ingénieur, 39, rue de l'Arcade.

BARDEL, Libraire, à Évreux.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARRAUD (**Ph.**), Docteur en Médecine, 50, rue Saint-Placide.

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 4 *bis*, rue Vicq d'Azir.

BASSOT, Lieutenant-Colonel du Génie, Chef de la Section de Géodésie au service géographique de l'armée, 140, rue de Grenelle.

BATCHELOR (**Charles**), Administrateur de la Compagnie continentale Edison.

BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 53, rue de Rennes.

BEAULARD, Professeur au Lycée, 12, avenue Victor Hugo, à Aix.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 57, rue Cuvier.

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, 15, quai du Foix, à Blois.

BEDOS (**Ph.**), Professeur au Lycée, 19, boulevard du Canal, à Carcassonne.

BEGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 19, rue de la Gare, à Roubaix.

BELL (**Alexander Graham**), 95, Scott Circle, Washington D. C. (U. S. A).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BELLOT (**Jules**), 28, rue Saint-Lazare.

BENAVENTE Y MONTALVO (**Antonio**), Ancien professeur de Physique au Collège de Rioseco, Directeur du Collège de Villada, Province de Palentia (Espagne).

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (**Georges**), Directeur général de l'exploitation de l'Exposition universelle de 1889, 8, rue Legendre.

BERGERON, Ingénieur des Arts et Manufactures, Préparateur de Géologie à la Faculté des Sciences, 157, boulevard Haussmann.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences physiques, 14, avenue des Gobelins.

MM.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ (Dr), Agrégé, Maître de Conférences de Physique à la Faculté de Médecine, 27, rue Gouvion, à Bordeaux.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée de Périgueux.

BERSON, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

BERTHELOT, Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTIN-SANS, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BERTRAND (**A.-L.**), Capitaine du Génie, attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 10, rue Saint-Dominique.

BESANÇON (**M.-J.**), Professeur à l'École Turgot, 15, quai de Valmy.

BESOMBES (**Noël**), Inspecteur des postes et télégraphes, 2, place Saint-Michel, à Marseille.

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, 4, rue des Martyrs.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 9 *bis*, rue Le Goff.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS, à Caen.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

BIDAUX (**Maurice**), Pharmacien de 1re classe, à Chaville.

BIENAYMÉ, Directeur du matériel au Ministère de la marine, rue Royale.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), 3, rue Taitbout.

BJERKNES (**Vilhelm**), 5, rue des Carmes.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, 2, boulevard Raspail.

BLONDIN, Professeur au Lycée, 5, rue François Caviole, à Cahors.

BLONDLOT (**R.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 3, rue Soufflot.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe.

BONTEMS (**Emile**), Capitaine au 143e régiment d'Infanterie à Albi.

BONVALOT, Ingénieur, 1, place Saint-Jean, à Dijon.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Inspecteur des Finances, 181, boulevard Saint-Germain.

BOREL, Docteur en Médecine, à Puy-Saint-Martin (Drôme).

BORGMANN, Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

MM.

BOUASSE (**Henri**), Agrégé-Préparateur de Physique au Collège de France, 119, boulevard Saint-Michel.

BOUCHARD, Sous-Ingénieur des Télégraphes, 19, quai d'Orléans, à Rennes.

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

BOUDET DE PÂRIS (le Dr **M.**), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 5, rue Descartes.

BOULANGER, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 10, rue Saint-Dominique.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOURGEOIS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, rue du Cardinal-Lemoine.

BOURRUT-DUVIVIER, Professeur à l'École Navale, 89, rue de Siam, à Brest.

BOUSQUET, Directeur de l'École normale de Nice.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 172, boul. Voltaire.

BOUTET DE MONVEL, Professeur en retraite, 5, rue des Pyramides.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOVY (**Hugues**), Ingénieur-Électricien à Bellegarde.

BRACHET, Ingénieur, 2, rue d'Égypte, à Lyon.

BRANLY, Professeur à l'Ecole libre des hautes études scientifiques et littéraires, 42, avenue de Breteuil.

BRANVILLE (**de**), Ingénieur civil, constructeur d'appareils électriques, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

BREWER (**William J.**), Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRIEU (**Georges**), Professeur à l'École Normale, 12, rue des Forgerons, à Périgueux.

BRILLOUIN (**Marcel**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue de la Planche.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7 *bis*, rue de l'Aqueduc.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 18, rue Vauquelin.

BROCA (**André**), ancien élève de l'École Polytechnique, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 211, boulevard Saint-Germain.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNHES (**Julien**), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BRUNHES (**Bernard**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 1, rue Vauquelin.

BRUNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUDDE (Dr), Rédacteur au *Fortschritte*, Lessingstrasse, à Berlin.

BUGUET (**Abel**), Professeur au Prytanée Militaire, 75 *bis*, rue de l'Hôtel-de-Ville, à La Flèche.

BUISSON (**Maxime**), Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

MM.

CADIAT, Ingénieur, 10, rue Mayet.

CADOT, Professeur au Lycée de Bourges.

CAEL, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 31, rue Saint-Guillaume.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, à Montpellier.

CAILLETÈT, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTE, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

CANCE, Ingénieur électricien, 9, rue de Rocroy.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

CARIMEY, Professeur au Lycée de Besançon.

CARVALLO, Professeur au Lycée Saint-Louis, 19, villa Saïd.

CASALONGA, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAVIALE, Professeur de Physique à l'École Normale de Versailles, boulevard de Lesseps, à Versailles.

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice.

CAZES, Maître répétiteur au Lycée Saint-Louis.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès Sciences, 47, rue Denfert-Rochereau.

CHABRY (**Dr L.**), Docteur ès Sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

CHAMAND (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.

CHAMANTOFF (**Nicolas**), Préparateur au cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAMBERT (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 96, boulevard Saint-Germain.

CHAPERON (**Georges**), Ingénieur civil des Mines, Répétiteur à l'Ecole Polytechnique, 37, rue Monge.

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale, 5, rue des Beaux-Arts.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHAPUY (**Paul**), Ingénieur des Mines, à Valence.

CHARDONNET (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon.

CHASSAGNY, Agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

CHATELAIN (**Michel**), 10, rue d'Assas.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, 3, place Jussieu.

MM.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille au Château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).

CHAUVEAU, ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau Central, 54, rue de Verneuil.

CHAUVIN, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil) et à Paris, 3, rue de Trévise.

CHERVET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 18, rue Nicole.

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHISTONI (**C.**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVEAU, Professeur au Lycée de Vesoul.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Lakanal, à Sceaux.

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille.

COLARDEAU (**Emmanuel**), Professeur au Collège Rollin, 25, rue Saint-Vincent-de-Paul.

COLLEY (**Robert**), Professeur de Physique à l'Académie agronomique de Petrowskoyé, près Moscou (Russie).

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie Royale de Belgique, ancien Directeur des finances du Grand-Duché de Luxembourg, à Luxembourg.

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée avenue Reinsheim à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COMBES (**A.**), Docteur ès sciences, Ancien élève de l'École Polytechnique, 13, rue Le Verrier.

COMBET (**Candide**), Professeur au Collège de Pontarlier.

COMBETTE, Inspecteur de l'Académie de Paris, 63, rue Claude-Bernard.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

CONTAL, Préparateur de Physique au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

CORNU, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 113, rue de Dunkerque, à Saint-Omer.

COUETTE (**Maurice**), 6, rue Mézières.

COULIER, Membre du Comité de Santé des armées, 26, rue Gay-Lussac.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (**l'abbé**), Professeur à l'Institution libre du Sacré-Cœur à Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles.

COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 9, boulevard de l'Odet, à Quimper, et 5, Place Saint-François-Xavier.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

MM.

CROVA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève.

CULMANN, Docteur ès sciences, attaché à la maison Bréguet, 39, quai de l'Horloge.

CURIE (**Pierre**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 5, avenue de Sceaux, à Fontenay-aux-Roses.

CUSCO (le Dr), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 97, rue des Petits-Champs.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 150, rue de Rennes.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

DAVID (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

DEDET, Professeur honoraire de Physique, à Albi.

DEFFORGES (le Commandant **G.**), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de Latour-Maubourg.

DELATTRE (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Georges.

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DEMERLIAC, Professeur au Lycée de Caen.

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, 30, rue des Binelles, à Sèvres.

DESEILLIGNY (l'abbé), à l'Archevêché de Rouen.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESLANDRES, ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

DESPRATS, Principal du Collège de Villefranche-sur-Saône (Rhône).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 74, rue Condorcet.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Nevers.

DEVAUX, Docteur ès sciences, 33, rue Linné.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (**P.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 8, rue Gay-Lussac.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Ingénieur civil, 54, place Saint-Charles.

DINI, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

DOIGNON (**L.**), Ingénieur, 51, rue du Four.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

MM.

GERBOZ (**P.-C.**), Constructeur d'instruments de précision.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur au Collège, 76, rue du Collège, à Roubaix.

GILBAULT, Agrégé de l'Université, 73, rue Claude-Bernard.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, 90, rue Claude-Bernard.

GIRAUD, Ingénieur mécanicien, 18, rue de Paris, à Clichy.

GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

GIROUX, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GODARD (**Léon**), Docteur ès Sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie, 175, rue de Vaugirard.

GODFRIN, Professeur au Lycée de Valenciennes.

GODRON (**H.**), Élève Ingénieur des Ponts et Chaussées, 18, rue du Vieux-Colombier.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 282, rue Saint-Jacques.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Privat-docent de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLDHAMMER (**Demetrius**), Privat-docent de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOMEZ (**Francisco Lopez**), Professeur à l'Institut de Valladolid (Espagne).

GOSSART (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART, Professeur au Lycée, 23, rue Bonnières, à Caen.

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.

GOTENDORF (**Silvanus**), 39, rue de Clichy.

GOULIER, Colonel du Génie, 6, rue d'Estrées.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur au Lycée Charlemagne, 31, rue de Poissy.

GOUTY, Ingénieur, à Genève (Suisse).

GOUY, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, cours Perrache, à Lyon.

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine à Vierzon.

GRAMMACINI (**J.**), Receveur-Chef du Poste central des télégraphes, 54, rue de Clichy.

GRAVIER (**Alfons**), Ingénieur du Service électrique de la Société française de matériel agricole et industriel, à Vierzon.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres.

MM.

GRÉHANT (Dr), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physiologie générale, au Muséum, 17, rue Berthollet.

GRELLEY, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique à Nantua.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 12. rue du Mont-Thabor, à Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

GUEBHARD, Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 6, rue Le Goff.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur en retraite, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉRIN (**Émile**), Fabricant d'appareils électriques, 5, rue Montmorency.

GUILLAUME, Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

GUILLEMIN (l'abbé), Licencié ès sciences, 18, rue de la Pépinière.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, rue de Metz, à Nancy.

GUYE (**Philippe A.**), Docteur ès sciences, 19, rue de Tournon.

HAGENBACH, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HALLER, Professeur de Chimie générale à la Faculté des Sciences de Nancy.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt, par Mercy-le-Bas (Meurthe-et-Moselle).

HARDY (Dr E.), Chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, 90, rue de Rennes.

HAUDIÉ (**Edgard**), Agrégé-Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 30, avenue de l'Observatoire.

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint au Laboratoire de Médecine de l'École des Hautes Études au Collège de France, 87, avenue de Villiers.

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique de Roumanie, à Bucarest.

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut Technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Roquépine.

HOMÉN (**Theodor**), Docteur ès sciences, agrégé à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 151 *bis*, rue de Rennes.

HOSTEIN, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

MM.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 6, rue Saint-Louis en l'Ile.

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HUGUENY, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HURMUZESCU (**Dragomir**), Licencié de la Faculté de Bucarest, 22 rue Berthollet.

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 257, West, 44th street, à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 3, rue Théry, à Passy.

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 15, avenue des Gobelins.

JANET (**Paul**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 17, rue Lesdiguières, à Grenoble.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARNIGON (**Georges**), Ingénieur Électricien, 63, rue Saint-Denis.

JARRE, 2, rue des Pyramides.

JAUMANN (**G.**), Assistant au Laboratoire de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL, Député, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

JEUNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JOLY, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 57, rue Claude-Bernard.

JOLY (**Léon**), Inspecteur du Crédit Foncier, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOLY (Commandant), 19, rue Boislevent.

JOUBERT, Inspecteur de l'Académie de Paris, 67, rue Violet.

JOUBIN, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Besançon.

JOUET, 60, rue Pierre-Charras.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes Études de Moscou (Russie).

MM.

JOYEUX (**Eugène**), 5, route de Versailles, à Chaville.

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**F. de**), Imprimeur, Directeur du journal *l'Autunois*, 4, Grand'Rue, à Autun.

KAREIS, (**Josef**), 7, Niebelungengasse, à Vienne (Autriche).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine adjudant-major au 23e bataillon de chasseurs à pied, à Limoges.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

KRAIEWITSCH, Professeur de Physique aux Académies de la Marine et des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KREICHGAUER, Docteur ès Sciences, Aide au Bureau International des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, à Sèvres.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 17, faubourg Saint-Jacques.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur-Électricien, à Constantinople (Turquie).

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès Sciences physiques, 54, rue de l'Arbre-Sec.

LAFOREST (Comte **de**), Général de brigade, à Albi.

LAGRANGE (**L.**), Professeur de Physique à l'École militaire, 26, rue Vilain XIV, à Bruxelles (Belgique).

LALA, Préparateur à la Faculté des Sciences, 11, rue d'Aubuisson, à Toulouse.

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALANDE (**de**), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 87, rue de Rennes.

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LANCELOT, Constructeur d'Instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine.

LANGLADE, Ingénieur civil, 22, rue Saint-Augustin.

LARNAUDE, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Aulnay, par Maule (Seine-et-Oise).

LAROCHE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LATCHINOW, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAURENT (**Léon**), Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

LAURIOL (**P.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 18, rue des Capucins, à Chartres.

MM.

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur au Séminaire de la Roche du Theil, par Redon (Ile et Vilaine).

LECAT, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 7, rue Gustave Courbet.

LECHAT, Professeur en retraite, 27, rue Vital.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des constructions navales, 25, cours Gambetta, à Lyon.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

LE CHÂTONNIER, Chimiste en chef des Douanes, à Rouen.

LE CORDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger, 15, rue de Tanger, Alger.

LEDEBOER, Docteur ès sciences, 53, rue du Four.

LE DOLLEY, Contrôleur des Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon-Central.

LEDUC, Professeur au Lycée Louis le Grand, 136, rue d'Assas.

LEFEBVRE, Capitaine au 95e d'infanterie, au camp d'Avor.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée, 18, rue Montbauron, à Versailles.

LEFEBVRE (**Victor**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, avenue du Maine.

LELORIEUX, Professeur au Lycée Lakanal, 110, boulevard Arago.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER (**Paul**), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur constructeur, 45, rue de Saint-Pétersbourg.

LEMSTRÖM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LÉON (**Gustave**), Ingénieur au Corps des Mines, 1, rue Madame.

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

LEROY, Médecin-Major au 6e régiment de cuirassiers, 18, avenue de Breteuil.

LESAGE, Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉTANG (**Paul**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 31, boulevard de Port-Royal.

MM.

LÉVY, Chef d'Institution, 20, rue Vauquelin.

LÉVY (**Armand**), Professeur au Lycée, 18 *bis*, rue Cornebouc, à Poitiers.

LIBERT (**J.-C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon,

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

LOIR, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Saint-Symphorien de Loy (Rhône).

LORRAIN (**James-Grieves**), Consalting Engineer Norfolk House, Norfolk street, London. W. C.

LOUGUININE, Capitaine de la Garde Impériale russe, 4, rue Mesnil.

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LYON (**Gustave**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Bruxelles (Belgique).

MADAMET, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, 84, boulevard Saint-Michel.

MAGNE (**P.**), Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAICHE, Ingénieur électricien, 3, rue Louis-le-Grand.

MAIGRET (D^r), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

MAISONOBE, Lieutenant au 6e régiment d'Artillerie, à Clermont-Ferrand.

MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, Sous-Directeur du Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 12, rue de Longchamps.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTIN (**Joanny**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 6, rue des Capucins, à Lyon.

MARTINET, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral Courbet.

MARTINET, Professeur au Lycée de Montpellier.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MM.

MASSE, Professeur au Lycée de Toulon.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MATHIAS (**Émile**), Professeur au Lycée de Marseille.

MAUMENÉ, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lyon, et 91, avenue de Villiers.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 30, rue Vital (Passy).

MAURAT, Ancien Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boul. de Port-Royal.

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MENDELSSOHN (**Maurice**), Docteur en Médecine.

MÉNIER (**Henri**), 8, rue de Vigny.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

MERGIER, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 66, route de Châtillon.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 73, rue Pigalle.

MERLE (**Antoine**), Directeur de la maison Brunot-Court, à Grasse.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée de Châlons-sur-Marne.

MERSANNE (**de**), Ingénieur-Électricien.

MESLIN, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur, Chef de traction au chemin de fer de l'Est, 22, rue Pajol.

MEYLAN, Ingénieur, 31, rue de Poissy.

MEYSENHEIM (**Louis-Maria**), Chef de Section des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, 4, avenue de la Gare, à Nanterre-sur-Seine.

MICULESCU (**Constantin**), Licencié ès sciences, 43, boulevard Arago.

MILLARD, Docteur en Médecine, à Dinard, et 25, rue Royale.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MINGASSON, Professeur au Lycée de Caen.

MINNE, Constructeur d'instruments de Physique.

MISLAWSKY (D^r^), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MOLZ, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

MONDOS (**Robert**), Ingénieur, 89, rue Nollet.

MONNORY (**Henri**), Professeur à l'École Normale de Cluny.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTAUD (**B. de**), Ingénieur civil, 73, rue d'Allemagne.

MONTEFIORE (**Levi**), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique à Liège.

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Châteauponsac (Haute-Vienne).

MONTHIERS (Maurice), 135, boulevard Malesherbes.

MM.

MORANA (**Ignace**), Électricien, 44, rue de Lausanne, à Genève.

MORELLE, Chef des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Caumartin, à Lille.

MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

MOSER (Dr **James**), Docent à l'Université, Schwarz Spanier St., 16, Vienne (Autriche).

MOUCHEZ (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.

MOUCHOT, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.

MOUTIER, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 13, rue Gay-Lussac.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'optique, 7, rue des Gravilliers.

NAMBA MASSACHI, à l'Université, Dépt des Sciences, à Tokio (Japon).

NAPOLI (**David**), Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 34 *ter*, rue de Dunkerque.

NEGREANO (**D.**), Professeur à la Faculté des Sciences, Sf.-Jonica, n° 4 (Maison Olbrich), Bucarest (Roumanie).

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, Directeur du Laboratoire central d'électricité, 116, boulevard Haussmann.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NODON (**Albert**), Ingénieur civil, 20, rue du Midi, à Vincennes.

NODOT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon.

NOÈ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

NOUGARET (**Élie**), Professeur au Lycée, place Plumancy, à Périgueux.

OFFRET, Professeur au Lycée, 9, rue Martin du Nord, à Douai.

OFFRET (**Albert**), Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 77, avenue de Saxe, à Lyon.

OGIER (**Jules**), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 34, rue de Provence.

MM.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 9, rue de Mailly.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université d'Odessa (Russie).

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lille.

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Académie de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Saint-Étienne.

PALMADE, Capitaine du Génie, à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques au Lycée Louis-le-Grand.

PARAYRE (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 6, rue Raynouard.

PARENTHOU (**Émile**), Ingénieur, 18 *bis*, rue Denfert-Rochereau.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASQUIER (D^r^), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

PASSOT (D^r^), 34, rue Saint-Basile, à Marseille.

PAUCHON (**Ernest**), Professeur Adjoint à la Faculté des Sciences, 191, rue Basse, à Caen.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph C^e^, à Bone (Algérie).

PAUMÉS, Docteur en Médecine, rue Pergaminien, à Toulouse.

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine, 14, rue Cadet.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C^e^, au Caire (Egypte).

PELLAT (**H.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine, 9, quai Richebourg, à Nantes.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PÉRIER (**Paul**), attaché au Bureau central Météorologique, 176, rue de l'Université.

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PEREZ (**Fernando Ferrari**), Professeur à l'École normale, Tacubaya D. F. à Mexico (Mexique).

PERNET (**X.**), Professeur de Physique en retraite, faubourg de Paris, Maison de l'Arc, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), Karlsbad, 22, Berlin, W.

PÉROT (**Alfred**), Chargé d'un Cours supplémentaire de Physique, à la Faculté des Sciences, 119, Boulevard de Longchamps, à Marseille.

MM.

PERROT (**Paul**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 191, boulevard Pereire.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT (**E.**), Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

PEUCHOT, Ingénieur opticien, 31, quai des Grands-Augustins.

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université d'Innsbruck (Autriche).

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 32, faubourg de Fougères, à Rennes.

PHILIPPE, Professeur au Collège Sainte-Barbe, 21, rue Paradis.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

PICART (**A.**), Fabricant d'instruments de précision, 20, rue Mayet.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, 75, avenue de la Grande-Armée.

PILLEUX, 16, rue du Prévôt, à Beauvais.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université de Kharkoff (Russie).

PINEL (**Charles-Louis**), 26, rue Méridienne, à Rouen.

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 10, rue de Port-Mahon.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 1, quai Malaquais.

POINCARÉ (**A.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POINCARÉ (**Lucien**), Agrégé Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon.

POIRÉ, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur des constructions navales, 14, rue de la Rampe, à Brest.

PONSELLE (**George**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 16, rue Saint-Fargeau.

PÖPPER (**Josef**), Ancien élève de l'École Polytechnique de Vienne, Ingénieur constructeur de machines, VII, Westbahnstrass, 29, à Vienne (Autriche).

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur, au Château de La Houblonnière, par Lisieux.

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), Secrétaire de la Section de Physique à la Société Impériale des Amis des Sciences naturelles, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 29, boulevard de Clichy.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

MM.

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis.

RADIGUET (**fils**), Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RAMEAU (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur de la Marine, à Lorient.

RÉBOUIS, Professeur au Collège Stanislas, 23, rue Claude-Bernard.

RECHNIEWSKI, Ingénieur, 31, rue de Poissy.

RECOURA (**Albert**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Lyon.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

RÉGNARD (Dr **P.**), Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 224, boulevard Saint-Germain.

REISET, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

RENARD (**Charles**), Chef de bataillon du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon.

RENAULT, Licencié ès Sciences physiques, 25, rue Brezin.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

REYNIER (**Émile**), Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 6, rue de Constantinople.

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur des Ponts et Chaussées attaché au service des Phares, 6, rue Bizet.

RICHARD, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Th.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOLLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lyon.

RIGOUT, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

ROBIN (**P.**), Directeur de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

ROBLES (**José de**), Ingénieur agronome, calle del General Castagnos, 7, à Madrid (Espagne).

RODDE (**Ferd.**), 7, rue du Delta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 8, avenue Hoche.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

MM.

ROGER, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

ROGNETTA (F.-B.), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

ROIG Y TORRES (Raphaël), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROMILLY (de), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, au château de Bray, par Saint-Perret (Ardèche).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROSLIN d'IVRY (Baron), 101, avenue des Champs-Élysées.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

ROUSSEAU (Paul), Fabricant de produits chimiques, 17, rue Soufflot.

ROUSSELET, Censeur du Lycée de Bourg.

ROUSSELOT (l'abbé), 74, rue de Vaugirard.

ROUX (Gaston), Ingénieur Électricien, 51, rue de Dunkerque.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (Henri), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINT-LOUP, Doyen de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

SALADIN, Ingénieur civil des Mines, 2, avenue Malakoff.

SALCHER (Dr **P.**), Professeur à l'Académie Impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).

SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

SAMBOURG (Ch.), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 6, rue de la Porte-Maillot.

SANDOZ (Albert), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 40, rue d'Ulm.

SARASIN (E.), Docteur ès Sciences, à Genève.

SARCIA (Jules), Ingénieur de la Société anonyme pour le Travail électrique des Métaux, 14, rue Gérando.

SARRAN, Professeur au Lycée, place Saint-Didier, à Poitiers.

SARRAU, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 9 *bis*, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé.

SAUSSE, Préparateur à la Faculté des Sciences de Caen.

SAUTTER (Gaston), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (Henri), Inspecteur des Postes et des Télégraphes, 16, rue Pannette, à Évreux.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHILLER (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHNEIDER (Théodore), Professeur de Chimie à l'École Monge, 58, rue Madame.

MM.

SCHODDUIJN (l'abbé), Professeur de Sciences à l'Institution Saint-Joseph, à Gravelines.

SCHWEDOFF, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 10, rue Sainte-Anne.

SEBERT, Général d'Artillerie de Marine, 13, rue de la Cerisaie.

SÉGUIN, ancien Recteur, 1, rue Ballu.

SEIGNETTE (**Adrien**), Professeur au Lycée Condorcet, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SERPOLLET, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIMON, Pharmacien, au Perreux.

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes.

SLOUGUINOFF, Professeur de Physique au cabinet de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SORET (**Louis**), Professeur à l'Université de Genève (Suisse).

SOLIGNAC, Ingénieur-Électricien, 247, rue Saint-Honoré.

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STŒCHEGLAIEF (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

STRAUSS, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 71, rue Treilhard.

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

THENARD (le **baron Arnould**), chimiste agriculteur, 6, place Saint-Sulpice.

THIERCELIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, 43, rue Madame.

THIESEN (Dr **Max**.), à Charlottemburg, Berlinerstrasse, 22, à Berlin.

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 53, boulevard Montparnasse.

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Leonard street, Londres, E. C.

THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THOUVENEL, Professeur au Lycée de Vanves, 130, boulevard Montparnasse.

THOUVENOT (**Clovis**), Ingegnere delle officine e fonderie Mazzocchi, Porta Cavalleggeri, à Rome (Italie).

THYRION, Professeur au Collège, 22, rue Béranger, à Fontainebleau.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSANDIER (**Gaston**), Directeur du Journal « *La Nature* », 50, rue de Châteaudun.

TONARELLI, Censeur du Lycée de Valenciennes.

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

TRANNIN (**Henri**), Docteur ès Sciences, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Arras.

TRIPIER (le Dr), 41, rue Cambon.

TROTIN, Ingénieur des télégraphes, 38, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue Hauteville.

UCHARD (**A.**), Capitaine d'artillerie, 4, rue Maurepas, à Versailles.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

VAGNIEZ BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VALETTE, Rédacteur au Journal « *Cosmos* », 8, rue François Ier.

VAN AUBEL (Dr **Edmond**), Membre de la Société de Physique de Berlin, 3, rue Royale (Ministère de la Guerre), à Bruxelles (Belgique).

VAN BIERVLIET (**Albert**), 25, rue Marie-Thérèse, à Louvain (Belgique).

VANDENBROUCQUE, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARENNE (**de**), Préparateur du Laboratoire de Physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

VARIN, Professeur au Collège, à Nancy.

VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

MM.

VAUCHERET, Colonel d'Artillerie, Directeur de la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin.

VAUTIER (**Théodore**), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VERDIN, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 7, rue Linné.

VERRIER (**Gabriel**), Ingénieur électricien, Ancien élève diplômé de l'École centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.

VILLARS, Professeur au Lycée de Coutances.

VILLIERS (**Antoine**), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VILLY, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

VIOLET (**Léon**), sous-directeur des ateliers Carpentier, 20, rue Delambre.

VIOLLE, Maître de conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VION (**René**), Conservateur de la Bibliothèque, 16, place au Feurre, à Amiens.

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup de la Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Besançon.

WAHA (**de**), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALLON (**E.**), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

WEISS (**G.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 12, place Saint-Sulpice.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 71, rue du Cardinal-Lemoine.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue des Saints-Pères.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 104, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

WUILLEUMIER (**H**), Docteur ès sciences, 98, rue d'Assas.

MM.

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

XAMBEU, ancien Professeur, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Mai 1890.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 4 JANVIER 1889 5
Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1888 8
Allocution prononcée dans la Séance du 4 janvier 1889; par M. *F. de Romilly*, Président sortant 11

SÉANCE DU 18 JANVIER 1889 16

SÉANCE DU 1er FÉVRIER 1889 24
Sur les phénomènes dits actino-électriques; par M. *E. Bichat* 27

SÉANCE DU 15 FÉVRIER 1889 36
Expériences de M. Weyher sur les tourbillons, trombes, tempêtes et sphères tournantes; présentées par M. *Mascart* 41

SÉANCE DU 1er MARS 1889 56
Réfractomètre à lentille pour liquides; par M. *N. Piltschikoff* 61

SÉANCE DU 15 MARS 1889 66
Sur l'achromatisme des interférences; par M. *Mascart* 70

SÉANCE DU 5 AVRIL 1889 77

SÉANCE DU 19 AVRIL 1889 81
Réfractomètre de M. A. Dupré. Appareil pour mesurer les indices de réfraction des liquides ou des gaz, construit pour le Laboratoire municipal de Paris; par M. *Ph. Pellin* 85

SÉANCE DU 3 MAI 1889 90

SÉANCE DU 17 MAI 1889 94
Note sur le Médimarémètre, nouvel appareil pour la détermination du niveau moyen de la mer; par M. *Ch. Lallemand* 98

SÉANCE DU 7 JUIN 1889 107
Sur la polarisation elliptique par réflexion vitreuse et métallique. — Extension des méthodes d'observation aux radiations ultra-violettes. — Continuité existant entre ces deux genres de phénomènes; par M. *A. Cornu* 111

SÉANCE DU 14 JUIN 1889 118
Sur l'état de la matière au voisinage du point critique; par MM. *L. Cailletet* et *E. Colardeau* 123

Pages.

SÉANCE DU 5 JUILLET 1889 131
Recherches expérimentales sur la cohésion des liquides; par M. *Théodore Schwedoff* 134
Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude des composés formés par l'action des molybdates neutres de magnésie et de lithine sur les solutions d'acide tartrique; par M. *D. Gernez* 153
Recherches sur l'application de la mesure du pouvoir rotatoire à l'étude des combinaisons qui résultent de l'action de l'acide malique sur le molybdate d'ammoniaque; par M. *D. Gernez* 158

SÉANCE EXTRAORDINAIRE DU 19 JUILLET 1889 162

SÉANCE DU 15 NOVEMBRE 1889 163
Détermination de l'ohm par la méthode électrodynamique de M. Lippmann; par M. *H. Wuilleumier* 168

SÉANCE DU 6 DÉCEMBRE 1889 180
Sur l'électrolyse; par MM. *Violle* et *Chassagny* 183
Recherches expérimentales sur la cohésion des liquides; par M. *Th. Schwedoff* (suite) 186

SÉANCE DU 20 DÉCEMBRE 1889 199
L'anémomètre cinémographe de MM. Richard frères; par M. *Alfred Angot*. 201
Les observations météorologiques sur la Tour Eiffel; par M. *Alfred Angot* 209
Balance de précision apériodique et à lecture directe des derniers poids; par M. *P. Curie* 218

LISTE DES OUVRAGES REÇUS EN 1889 231

LISTE DES MEMBRES 241

15360 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.